Health Canada Santé Canada

Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz

Safety Code 6

Canada

Our mission is to help the people of Canada maintain and improve their health.

Health Canada

Website address: **www.hc-sc.gc.ca/rpb**

© Minister of Public Works and Government Services, Canada 1999
Cat. H46-2/99-237E
ISBN 0-662-28032-6

Preface

100-03130/

This document is one of a series of Safety Codes prepared by the Radiation Protection Bureau of Health Canada. These Safety Codes specify the requirements for the safe use of radiation emitting devices. This Code replaces the previous Safety Code 6, EHD-TR-160, published in 1991 and reprinted in 1994 as 93-EHD-160. The rationale for changes to the previous Safety Code is given in Appendix VII.

The aim of this Code is to set out safety requirements for the installation and use of radiofrequency (RF) and microwave devices that operate in the frequency range from 3 kHz to 300 GHz. The exposure criteria in this Code are not intended to apply to the deliberate exposure for treatment purposes of patients by, or under the direction of, practitioners in the healing arts.

The safety procedures and installation guidelines given in this Code are for instructing and guiding employees of federal government departments and agencies. These guidelines may be adopted by the provinces, industry or other interested parties. The Department of National Defence shall conform to the requirements of this Safety Code, except in such cases where it considers such compliance would have a detrimental effect on its activities in support of training and operations of the Canadian Forces.

The objective of this Code is to establish guidelines for limiting RF and microwave exposure. As such, the document does not describe techniques for product performance evaluation. However, some basic principles and methods for evaluation of exposure levels are included in order to assist readers who are not familiar with RF measurements and evaluation. The Bureau recommends that organizations which adopt this Code develop their own procedures for compliance and exposure evaluation.

In a field where technology is advancing rapidly and where unexpected and unique problems may occur, this Code cannot cover all possible situations and blind adherence to rules cannot substitute for the exercise of sound judgement. Consequently, specifications and recommendations in this Code may require some modifications under certain circumstances. This, however, should be done in consultation with experts competent in the field of RF radiation protection. This Code will be reviewed and revised periodically and a particular

requirement may be reconsidered at any time if it is found necessary. Interpretation or elaboration on any point can be obtained from the Non-Ionizing Radiation Section of the Radiation Protection Bureau (RPB) in Ottawa.

The draft of the revision of this Code was prepared by Dr. A. Thansandote with the assistance of Mr. D.W. Lecuyer, Mr. G.B. Gajda and Dr. J. P. McNamee, all of whom are with the Consumer and Clinical Radiation Hazards Division, RPB. The draft is based on the previous versions of this Safety Code as well as the most current scientific information. This draft was reviewed by P.J. Waight, M.D., S. Vlahovich, M.D., Mr. P. Dvorak, Mr. W.J. Welsh, Mr. H.P. Maharaj and Dr. J.R.N. McLean of RPB, and by Dr. O.P. Gandhi of the University of Utah and Dr. M.A. Stuchly of the University of Victoria. Dr. K.S. Tan of the Medical Devices Bureau provided comments for Section 3.4 (Medical Devices and Electromagnetic Interference).

The reviews and comments of the following are gratefully acknowledged:

A. Federal Departments and Agencies

1. Health Canada, Occupational Health and Safety Agency
2. Transport Canada
3. Industry Canada, Spectrum Engineering Branch
4. Canadian Coast Guard
5. National Defence, Quality Engineering Test Establishment
6. Communications Research Centre, Radio Communications and Broadcast Research

B. Provinces

1. British Columbia Ministry of Health, Radiation Protection Branch
2. The Manitoba Cancer Treatment and Research Foundation, Department of Medical Physics
3. Ontario Ministry of Labour, Occupational Health and Safety Branch, Radiation Protection Service
4. Alberta Labour (Represented by d.r. Novitsky Enterprises)

C. Industry

1. Motorola, Florida Corporate Electromagnetics Research Laboratory
2. NAV Canada, Flight Inspection and Radiocommunications Engineering
3. Radio Advisory Board of Canada

D. Other Interested Parties

1. Canadian Centre for Occupational Health and Safety
2. McMaster University, St. Joseph's Hospital

Table of Contents

Preface 3

1. Introduction 9
1.1 Purposes of the Code 10

2. Maximum Exposure Limits 11
2.1 RF and Microwave Exposed Workers (Including Occupationally Exposed Persons) 12
2.1.1 Field Strength Limits 12
2.1.2 Basic Restrictions – *Specific Absorption Rate* (*SAR*) Limits 15
2.1.3 Induced and Contact Current Limits 15
2.1.4 Peak Field Strength Limit for Pulsed Fields 18
2.2 Exposure of Persons Not Classed As RF and Microwave Exposed Workers (Including the General Public) 18
2.2.1 Field Strength Limits 18
2.2.2 Basic Restrictions – *Specific Absorption Rate* (*SAR*) Limits 20
2.2.3 Induced and Contact Current Limits 20
2.2.4 Peak Field Strength Limit for Pulsed Fields 22
2.3 Time Averaging 23
2.3.1 Frequency 0.003 MHz – 15 000 MHz 23
2.3.2 Frequency 15 000 MHz – 300 000 MHz 24
2.4 Measurements and Evaluation 24
2.4.1 Field Measurements – Spatial Averaging 24
2.4.2 *SAR* Determination 25
2.4.3 Induced and Contact Current Measurements 25

3. Siting and Installation 26
3.1 Basic Principles 26
3.2 General Recommendations 26
3.3 RF and Microwave Heating Devices 27
3.4 Medical Devices and Electromagnetic Interference 28
3.5 Microwave Ovens 28

3.6 Radar and Communications Systems 29
3.7 Electroexplosive Devices 29

4. Safety Procedures for Operators and Maintenance Personnel of RF Devices (RF Workers) 30

5. Protection of the General Public 31

6. RF Surveys 32
6.1 RF Survey Procedures 32
6.2 Records and Recommendations 33

7. Warning Signs 34
7.1 Design of the Recommended Warning Signs 34
7.2 Area Demarcation 34
7.3 Signs for the Labelling of Devices 35

Appendices
I Maximum Exposure Limits for RF Fields - Graphical Representation 37
II Maximum Exposure Duration for Time Periods Less Than 0.1 h and Frequencies Below 15 000 MHz 39
III Theoretical Estimation of Exposure Fields 40
A Near-Field and Far-Field Zones 40
B Average Power of Pulsed Waves 47
C Scanning Antennas 48
IV Limits of Exposure to Pulsed RF Fields 51
V Measurements and Evaluation 52
A. RF Fields 52
A.1 Basic Characteristics of Survey Meters 52
A.2 Spatial Averaging 53
B. *Specific Absorption Rate* (*SAR*) 56
C. Contact and Induced Currents 57
C.1 Contact Current 57
C.2 Induced Current 59
VI X-Radiation 60
VII Rationale for Changes to the 1991 Version of Safety Code 6 61
VIII Definitions 65

References 71

1. Introduction

Recent developments in the electronics industry have led to the widespread use of radiofrequency (RF) devices in various areas, including telecommunication, radio and television broadcasting, radar, industrial processing, medical applications and consumer products. Electromagnetic fields extend over large areas when generated for communication, broadcasting and radar devices, but generally spread only over small areas when used in industrial, medical and consumer devices. Reflection and scattering of electromagnetic waves and simultaneous RF emissions by more than one source frequently result in a complex condition known as "multi-path" propagation and spatially non-uniform fields.

Studies of possible hazards to human health from exposure to RF electromagnetic fields show that there is a need for controls. Exposure to RF energy in excess of the limits given in this Safety Code may cause adverse health effects. The type and extent of effects depends not only on the strength of the field and the exposure duration, but also on various other factors such as the frequency, type of modulation, polarization, and distance from the source.

The exposure limits were established from a review of experiments conducted over the last 30 years on biological organisms, including humans, animals and cell systems[1,2,3]. The limits recommended in this Code have been set at least a factor of 10 lower than the threshold where potentially harmful effects begin, as judged by a consensus of the scientific community[4,5]. Biological effects of RF fields at levels too low to produce significant heating have also been reviewed[3,6]. These effects are not well established, nor are their implications for human health sufficiently well understood. Thus, they cannot provide a basis for making recommendation towards the restriction of human exposures to such low-intensity RF fields.

SI units are used throughout this document unless specified otherwise. A glossary of definitions is provided in Appendix VIII.

1.1 Purposes of the Code

The purposes of this Code are:

(a) to specify maximum levels and durations of exposure to RF fields of frequencies between 3 kHz and 300 GHz in order to prevent human health effects;

(b) to specify maximum allowable RF contact and induced body currents to prevent the physical perception of RF fields to the general public and RF shock or burns to RF and microwave exposed workers;

(c) to recommend general procedures for ensuring that exposure of the general public and of personnel working in the vicinity of RF and microwave devices is not greater than the levels specified in this Code; and

(d) to recommend working conditions that will lead to high standards of safety for all personnel engaged in the manufacture, operation and maintenance of RF devices.

2. Maximum Exposure Limits

In the following sections, the maximum exposure levels for both RF and microwave exposed workers (including occupationally exposed persons) and other individuals (including the general public) are specified. These levels shall not be exceeded.

The basic limits which shall not be exceeded are given in terms of the currents in the body, either by induction or contact with energized metallic objects, or in terms of the rate at which RF electromagnetic energy is absorbed in the body. The latter is expressed, more precisely, as the *specific absorption rate (SAR)*, i.e., the rate of RF energy absorption per unit mass in the body. *SAR* has units of joules per second per kilogram or watts per kilogram (W/kg). In practice, direct measurements of *SAR* are feasible only under laboratory conditions. Recommended maximum exposure levels in terms of unperturbed electric and magnetic field strength as well as power density are therefore given in addition to the *SAR* limits. These maximum field intensities are at levels which would generate a *SAR* or induced body current no greater than the basic limit.

For exposure limits of RF and microwave exposed workers, a safety factor of approximately 10 was incorporated with reference to the scientific-consensus threshold for adverse health effects. For other persons including the general public, an additional safety factor (2 to 5) was included to arrive at lower limits. The incorporation of these safety factors is to provide for all possible conditions under which the exposure might occur. The rationale for lower general public limits is as follows:

1. Exposure to the public is potentially 24 hours a day for 7 days a week, compared with 8 hours a day, 5 days a week for RF and microwave exposed workers.

2. Certain members of the general public may be more susceptible to harm from RF and microwave exposure.

To determine whether the maximum exposure levels and durations are exceeded, full consideration shall be given to such factors as:

(a) occupancy of areas;

(b) actual duration of exposure and time averaging (including ON/OFF times of the RF generators, direction of the beam, duty factors, sweep times, etc.);

(c) spatial characteristics of exposure, i.e., whole body or parts thereof;

(d) uniformity of the exposure field, i.e., spatial averaging.

In certain instances and over a specific frequency range, higher exposure levels are permitted for short durations. If this is the case, the field strengths and power densities should be averaged over one-tenth hour period (0.1 h or 6 min). Graphs are provided in Appendix I for easy identification of maximum exposure levels at various frequencies.

2.1 RF and Microwave Exposed Workers (Including Occupationally Exposed Persons)

In the far-field zone, electric field strength, magnetic field strength and power density are interrelated by simple mathematical expressions (Appendix III). Therefore, any one of these parameters defines the remaining two. In the near-field zone, both the electric and magnetic field strengths shall be measured, since there is no simple relationship between these two quantities. Instrumentation for the measurement of magnetic fields at certain frequencies may not be commercially available. In this case, the electric field strength shall be measured. Field strength measurements are described in Appendix V.

2.1.1 Field Strength Limits

(a) An RF and microwave exposed worker shall not be exposed to electromagnetic radiation in a frequency band listed in Column 1 of Table 1 if the field strength exceeds the value given in Column 2 or 3 of Table 1, when averaged spatially and over time, or if the power density exceeds the value given in Column 4 of Table 1, when averaged spatially and over time. The spatial averaging is carried out over an area equivalent to the vertical cross-section of the human body (projected area). A time-averaging period of 0.1 h (6 min) should be employed for frequencies up to 15 000 MHz. Above these frequencies, a different averaging time is used and is described in Section 2.3.2.

(b) Where the electromagnetic radiation consists of a number of frequencies in the same or different frequency bands shown in

Column 1 of Table 1, then the ratio of the measured value at each frequency to the limit at that given frequency shown in Column 2, 3, or 4 shall be determined and the sum of all ratios thus obtained for all frequencies shall not exceed unity when averaged spatially and over time. For field strength measurements, the measured values and the limits shall be squared before determining the ratios. The limit, as applied to multiple frequencies, can be expressed as:

$$\sum_{f\,=\,3\,kHz}^{300\,GHz} R_f \le 1\ ,$$

where f is the frequency for which measurements were taken and, where the electric or magnetic field strength is measured,

$$R_f = \left(\frac{\textit{Measured Value of Field Strength at } f}{\textit{Exposure Limit of Field Strength at } f} \right)^2 ,$$

or where the power density is measured,

$$R_f = \frac{\textit{Measured Value of Power Density at } f}{\textit{Exposure Limit of Power Density at } f} ,$$

Table 1
Exposure Limits for RF and Microwave Exposed Workers

1 Frequency (MHz)	2 Electric Field Strength; rms (V/m)	3 Magnetic Field Strength; rms (A/m)	4 Power Density (W/m^2)	5 Averaging Time (min)
0.003–1	600	4.9		6
1–10	$600/f$	$4.9/f$		6
10 - 30	60	$4.9/f$		6
30–300	60	0.163	10*	6
300–1 500	$3.54f^{0.5}$	$0.0094f^{0.5}$	$f/30$	6
1 500–15 000	137	0.364	50	6
15 000–150 000	137	0.364	50	$616\,000/f^{1.2}$
150 000–300 000	$0.354f^{0.5}$	$9.4 \times 10^{-4}f^{0.5}$	$3.33 \times 10^{-4}f$	$616\,000/f^{1.2}$

* Power density limit is applicable at frequencies greater than 100 MHz.

Notes: 1. Frequency, f, is in MHz.
2. A power density of 10 W/m^2 is equivalent to 1 mW/cm^2.
3. A magnetic field strength of 1 A/m corresponds to 1.257 microtesla (μT) or 12.57 milligauss (mG).

Example 2.1:

After time and spatially averaged measurements, the electric fields to which an RF worker is exposed are found to be 30 V/m, 40 V/m, 50 V/m and 60 V/m at 20 MHz, 90 MHz, 150 MHz and 1300 MHz, respectively. The relative values with respect to the exposure limits in the frequency bands of concern are given as follows:

$R_1 = (30/60)^2 = 0.25$ for 20 MHz (in the frequency band 10–30 MHz)

$R_2 = (40/60)^2 = 0.44$ for 90 MHz (in the frequency band 30–300 MHz)

$R_3 = (50/60)^2 = 0.69$ for 150 MHz (in the frequency band 30–300 MHz)

$R_4 = (60/127.6)^2 = 0.22$ for 1300 MHz (in the frequency band 300–1 500 MHz)

From which $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 1.6$, which exceeds unity and therefore the combined field strength does not conform with the Safety Code limit. Note that 127.6 V/m comes from substituting $f = 1300$ in the exposure limit term $3.54f^{0.5}$ which is found in Column 2 of Table 1.

Example 2.2:

Assume that a worker is exposed to RF fields at three different frequencies. Exposure measurements were performed, which were time and spatially averaged, producing the following conditions:

0.1 A/m at 27 MHz

70 V/m at 915 MHz

25 W/m^2 at 10 000 MHz

The relative values with respect to the exposure limits in the frequency bands of concern are given as follows:

$R_1 = (0.1/0.18)^2$ for 27 MHz (in the frequency band 10–30 MHz)

$R_2 = (70/107.1)^2$ for 915 MHz (in the frequency band 300–1 500 MHz)

$R_3 = 25/50$ for 10 000 MHz (in the frequency band 1 500–15 000 MHz)

From which $R_1 + R_2 + R_3 = 0.99$, which is less than unity and therefore the combined field strengths and power density conform with the Safety Code limit.

2.1.2 Basic Restrictions – *Specific Absorption Rate* (*SAR*) Limits

SAR, as defined in Appendix VIII, is a measure of the rate at which electromagnetic energy is absorbed in the body. Methods for *SAR* determination are described in Appendix V. At frequencies between 100 kHz and 10 GHz, *SAR* limits take precedence over field strength and power density limits and shall not be exceeded.

The *SAR* should be determined for cases where exposures take place at 0.2 m or less from the source. For conditions where *SAR* determination is impractical, field strength or power density measurements shall be carried out. In cases where *SAR* determination is appropriate, the values in Table 2 shall not be exceeded:

Table 2
***SAR* Limits for RF and Microwave Exposed Workers**

Condition	*SAR* Limit (W/kg)
The *SAR* averaged over the whole body mass	0.4
The local *SAR* for head, neck and trunk, averaged over any one gram (g) of tissue*	8
The *SAR* in the limbs, as averaged over 10 g of tissue*	20

*Defined as a tissue volume in the shape of a cube.

Although not a requirement of the Code, it is suggested that whenever possible, the organ-averaged *SAR* for the eye not exceed 0.4 W/kg. As stated in Appendix VII, this suggestion shall remain until sufficient scientific information is available to accurately assess the health effects of RF exposure on the eye.

2.1.3 Induced and Contact Current Limits

Limits for induced and contact currents are intended to reduce the potential for RF shock or burns as follows:

(a) For free standing RF and microwave exposed workers (no contact with metallic objects), current induced in the human body by electromagnetic radiation in the frequency bands listed in Column 1 of Table 3 shall not exceed the value given in Column 2 of Table 3. Induced current measurements are described in Appendix V.

(b) No object with which an RF and microwave exposed worker may come into contact by hand grip shall be energized by electromagnetic radiation in the frequency bands listed in Column 1 of Table 3 to such an extent that the current flow through an electrical circuit, having an impedance equivalent to that of the human body, exceeds the value given in Column 3 of Table 3, as measured with a contact current meter. Contact current measurements are described in Appendix V.

Note: The maximum permitted currents may be perceptible (such as a tingling or warming sensation), but are not sufficient to cause any pain or damage such as burns.

(c) Where the electromagnetic radiation consists of a number of frequencies in the same or different frequency bands, shown in Column 1 of Table 3, the ratio of the square of the measured current in each frequency to the square of the limit at that given frequency, shown in Column 2 or 3 (depending on whether it is induced or contact current) shall be determined, and the sum of all ratios thus obtained for all frequencies shall not exceed unity when time averaged. The limit, as applied to multiple frequencies, can be expressed as

$$\sum_{f\,=\,3\,kHz}^{110\,MHz} r_f \le 1\ ,$$

where f is the frequency for which measurements were taken and

$$r_f = \left(\frac{\textit{Measured Time-Averaged Value of Current at } f}{\textit{Current Limit at } f} \right)^2 .$$

Table 3
Induced and Contact Current Limits for RF and Microwave Exposed Workers

1 Frequency (MHz)	2 Induced Current (rms) (mA) Through		3 Rms Contact Current (mA) Hand Grip and Through Each Foot	4 Averaging Time
	Both Feet	Each Foot		
0.003–0.1	2000 f	1000 f	1000 f	1 s
0.1–110	200	100	100	0.1 h (6 min)

Notes: 1. Frequency, f, is in MHz.
2. The above limits may not adequately protect against startle reactions and burns caused by transient spark discharges for intermittent contactwith energized objects.

(d) For frequencies between 3 kHz and 100 kHz, the averaging time to be applied to the induced and contact currents shall be 1 second(s). For frequency between 100 kHz and 110 MHz, time averaging shall be applied to the square of the induced and contact currents and shall be consistent with the averaging time in Table 1 (0.1 h or 6 min), provided that the time-averaged square of the current in any 0.1 h (6 min) period does not exceed the limit given in the following relation:

$$I_{av}^2 = I_{lm}^2 \frac{6}{T_{exp}} ,$$

where I_{av} is the maximum allowable time-averaged current for exposure times less than 0.1 h (6 min), I_{lm} is the current limit through each foot (100 mA) as specified in Table 3, and T_{exp} is the exposure time in minutes during any 0.1 h (6 min) period. Shown in Table 4 are the higher values of I_{av} that may be allowed for exposure times less than 0.1 h (6 min).

Table 4
Time-Averaged Induced and Contact Current Limits for Different Exposure Times for the Frequency Band 0.1–110 MHz: RF and Microwave Exposed Workers

Exposure Time (Min)	6-Minute, Time-Averaged *Induced/Contact* Current (rms) through Each Foot (mA)
6	100
5	110
4	123
3	141
2	173
1	245
0.5	346*

* Maximum instantaneous current for exposure times less than 0.5 min. is 350 mA.

Note: The above limits may not adequately protect against startle reactions and burns caused by transient spark discharges for intermittent contact with energized objects.

To limit the temperature rise in the extremities such as ankles or wrists of the exposed individuals for exposure times less than 0.5 min, a maximum instantaneous current of 350 mA shall not be exceeded[7].

Example 2.3:

Assume that the time-averaged induced currents through both feet of an RF worker were found to be 5 mA, 80 mA and 120 mA at 0.005 MHz, 0.06 MHz and 1 MHz, respectively. The relative values with respect to the current limits in the frequency bands of concern are given as:

$r_1 = (5/10)^2 = 0.25$ for 0.005 MHz (in the frequency band 0.003–0.1 MHz)

$r_2 = (80/120)^2 = 0.44$ for 0.06 MHz (in the frequency band 0.003–0.1 MHz)

$r_3 = (120/200)^2 = 0.36$ for 1 MHz (in the frequency band 0.1–110 MHz)

From which $r_1 + r_2 + r_3 = 1.05$, which exceeds unity and therefore the total current through both feet does not conform with the Safety Code limit. Note that 10 mA and 120 mA come from substituting $f = 0.005$ and 0.06, respectively, in the exposure limit term $2000f$ which is found in Column 2 of Table 3.

2.1.4 Peak Field Strength Limit for Pulsed Fields

For exposures to pulsed electromagnetic fields in the frequency range of 0.1 to 300 000 MHz, the peak value of the instantaneous field (temporal peak), in terms of electric field strength, shall not exceed 100 kV/m. For pulse duration less than 100 ms, and in the preceding frequency range, peak limits shall be derived using the formula given in Appendix IV. If the derived peak limits are greater than 100 kV/m, the exposure limit shall be taken as 100 kV/m.

2.2 Exposure of Persons Not Classed as RF and Microwave Exposed Workers (Including the General Public)

2.2.1 Field Strength Limits

(a) A person other than an RF and microwave exposed worker shall not be exposed to electromagnetic radiation in a frequency band listed in Column 1 of Table 5, if the field strength exceeds the value given in Column 2 or 3 of Table 5, when averaged spatially and over

time, or if the power density exceeds the value given in Column 4 of Table 5, when averaged spatially and over time. The spatial averaging is carried out over an area equivalent to the vertical cross-section of the human body (projected area). A time-averaging period of 0.1 h (6 min) should be employed for frequencies up to 15 000 MHz. Above these frequencies, a different averaging time is used and is described in Section 2.3.2.

(b) Where the electromagnetic radiation consists of a number of frequencies in the same or different frequency bands, shown in Column 1 of Table 5, then the ratio of the measured value at each frequency to the limit at that given frequency shown in Column 2, 3, or 4 shall be determined, and the sum of all ratios thus obtained for all frequencies shall not exceed unity when averaged spatially and over time. For field strength measurements, the measured values and the limits shall be squared before determining the ratios. See Section 2.1.1 for more details on calculating the sum.

Table 5
Exposure Limits for Persons Not Classed As RF and Microwave Exposed Workers (Including the General Public)

1 Frequency (MHz)	2 Electric Field Strength; rms (V/m)	3 Magnetic Field Strength; rms (A/m)	4 Power Density (W/m^2)	5 Averaging Time (min)
0.003–1	280	2.19		6
1–10	$280/f$	$2.19/f$		6
10–30	28	$2.19/f$		6
30–300	28	0.073	2*	6
300–1 500	$1.585f^{0.5}$	$0.0042f^{0.5}$	$f/150$	6
1 500–15 000	61.4	0.163	10	6
15 000–150 000	61.4	0.163	10	$616\,000/f^{1.2}$
150 000–300 000	$0.158f^{0.5}$	$4.21 \times 10^{-4}f^{0.5}$	$6.67 \times 10^{-5}f$	$616\,000/f^{1.2}$

* Power density limit is applicable at frequencies greater than 100 MHz.

Notes: 1. Frequency, f, is in MHz.
2. A power density of 10 W/m^2 is equivalent to 1 mW/cm^2.
3. A magnetic field strength of 1 A/m corresponds to 1.257 microtesla (μT) or 12.57 milligauss (mG).

2.2.2 Basic Restrictions – *Specific Absorption Rate* (*SAR*) Limits

SAR, as defined in Appendix VIII, is a measure of the rate at which electromagnetic energy is absorbed into the body. Methods for *SAR* determination are described in Appendix V. At frequencies between 100 kHz and 10 GHz, *SAR* limits take precedence over field strength and power density limits and shall not be exceeded.

The *SAR* should be determined for cases where exposures take place at 20 cm or less from the source. For conditions where *SAR* determination is impractical, field strength or power density measurements shall be carried out. In cases where *SAR* determination is appropriate, the values in Table 6 shall not be exceeded:

Table 6
SAR Limits for Persons Not Classed As RF and Microwave Exposed Workers (Including the General Public)

Condition	*SAR* Limit (W/kg)
The *SAR* averaged over the whole body mass	0.08
The local *SAR* for head, neck and trunk, averaged over any one gram (g) of tissue*	1.6
The *SAR* in the limbs, as averaged over 10 g of tissue*	4

* Defined as a tissue volume in the shape of a cube.

Although not a requirement of the Code, it is suggested that whenever possible, the organ-averaged *SAR* for the eye not exceed 0.2 W/kg. As stated in Appendix VII, this suggestion shall remain until sufficient scientific information is available to accurately assess the health effects of RF exposure on the eye.

2.2.3 Induced and Contact Current Limits

Limits for induced and contact currents exist to reduce the potential for RF shock or burns as follows:

(a) For free standing individuals (no contact with metallic objects), current induced in the human body by electromagnetic radiation in the frequency bands listed in Column 1 of Table 7 shall not exceed the value given in Column 2 of Table 7. Induced current measurements are described in Appendix V.

(b) No object, with which a person may come into contact by hand grip, shall be energized by electromagnetic radiation in the

frequency bands listed in Column 1 of Table 7 to such an extent that the current flow through an electrical circuit, having an impedance equivalent to that of the human body, exceeds the value given in Column 3 of Table 7, as measured with a contact current meter. Contact current measurements are described in Appendix V.

Table 7
Induced and Contact Current Limits for Persons Not Classed as RF and Microwave Exposed Workers (Including the General Public)

1 Frequency (MHz)	2 Rms Induced Current (mA) Through		3 Rms Contact Current (mA) Hand Grip and Through Either Foot	4 Averaging Time
	Both Feet	Each Foot		
0.003–0.1	900 *f*	450 *f*	450 *f*	1 s
0.1–110	90	45	45	0.1 h (6 min)

Notes: 1. Frequency, f, is in MHz.
2. The above limits may not adequately protect against startle reactions and burns caused by transient spark discharges for intermittent contact with energized objects.

(c) Where the electromagnetic radiation consists of a number of frequencies in the same or different frequency bands, shown in Column 1 of Table 7, the ratio of the square of the measured current at each frequency to the square of the limit at that given frequency shown in Column 2 or 3 (depending on whether it is the induced or contact current) shall be determined, and the sum of all ratios thus obtained for all frequencies shall not exceed unity when time averaged. See Section 2.1.3 for more details on calculating the sum.

(d) For frequencies between 3 kHz and 100 kHz, the averaging time to be applied to the induced and contact currents shall be 1 second(s). For frequencies between 100 kHz and 110 MHz, time averaging shall be applied to the square of the induced and contact currents and shall be consistent with the averaging time in Table 5 (0.1 h or 6 min), provided that the time-averaged square of the current in any 0.1 h (6 min) period does not exceed the limit given in the following:

$$I_{av}^2 = I_{lim}^2 \frac{6}{T_{exp}},$$

where I_{av} is the maximum allowable time-averaged current for exposure times less than 0.1 h (6 min), I_{lm} is the current limit through each foot (45 mA) as specified in Table 7, and T_{exp} is the exposure time in minutes during any 0.1 h (6 min) period. Shown in Table 8 are the higher values of I_{av} that may be allowed for exposure times less than 0.1 h (6 min).

Table 8
Time-Averaged Induced and Contact Current Limits for Different Exposure Times in the Frequency Band 0.1-110 MHz for Persons not classed as RF and Microwave Exposed Workers (Including the General Public)

Exposure Time (Min)	6-Minute, Time-Averaged Induced/Contact Current (rms) through Each Foot (mA)
6	45
5	49
4	55
3	64
2	78
1	110
0.5	155*

*Maximum instantaneous current for exposuretimes less than 0.5 min. is 155 mA.

Note: The above limits may not adequately protect against startle reactions and burns caused by transient spark discharges for intermittent contact with energized objects.

For exposure times less than 0.5 minutes, a maximum instantaneous current of 155 mA shall not be exceeded.

2.2.4 Peak Field Strength Limit for Pulsed Fields

For exposures to pulsed electromagnetic fields in the frequency range of 0.1 to 300 000 MHz, the peak value of the instantaneous field (temporal peak), in terms of electric field strength, shall not exceed 100 kV/m. For pulse duration less than 100 ms, and in the preceding frequency range, peak limits shall be derived using the formula given in Appendix IV. If the derived peak limits are greater than 100 kV/m, the exposure limit shall be taken as 100 kV/m.

2.3 Time Averaging

2.3.1 Frequency 0.003 MHz – 15 000 MHz

A single measurement is sufficient, unless the field is changing significantly (more than 20%) within a period of 0.1 h, in which case the time-averaged values must be calculated from multiple measurements. Some modern instruments have time-averaging capabilities. If this feature is not available on the instrument being used, the time-averaged values over 0.1 h can be obtained by using the following formulae:

(a) To obtain the time-averaged rms electric (E) or magnetic (H) field strength, use the applicable formula:

$$E = \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^{n} E_i^2 . \Delta t_i \right]^{1/2}$$

or

$$H = \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^{n} H_i^2 . \Delta t_i \right]^{1/2} ,$$

where E_i and H_i are the sampled rms electric and magnetic field strengths, respectively, which are considered to be constant in the i-th time period, Δt_i is the time duration, in minutes, of the i-th time period and n is the number of time periods within 6 min (0.1 h).

(b) To obtain the time-averaged power density W, use the formula

$$W = (1/6) \sum_{i=1}^{n} W_i \, \Delta t_i ,$$

where W_i is the sampled power density in the i-th time period.

(c) To obtain the time-averaged SAR, use the formula:

$$SAR = (1/6) \sum_{i=1}^{n} (SAR)_i \, \Delta t_i ,$$

where $(SAR)_i$ is the sampled SAR in the i-th time period.

Notes: (1) In all of the previous formulae, the following relationship shall be satisfied:

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta t_i = 6 \; min,$$

(2) For pulsed fields, E_i and H_i are rms values, and W_i is the value averaged over the time interval Δt_i. If peak values are measured, the rms or average values shall be calculated.

2.3.2 Frequency 15 000 MHz – 300 000 MHz

In the frequency range 15 000 MHz–300 000 MHz, the averaging time, in minutes, shall be evaluated for field strengths using the formula:

$$Averaging\ Time = 616\,000 / f^{1.2},$$

where f is the frequency in MHz.

2.4 Measurements and Evaluation

2.4.1 Field Measurements – Spatial Averaging

Measurements to determine conformity with the limits specified in Sections 2.1.1 and 2.2.1 shall be performed with field sensors (probes) placed at least 0.2 m away from any object or person. To determine the spatially averaged value, local values including the maximum value shall be measured over a surface area of 0.35 m (width) x 1.25 m (height) perpendicular to the ground and at a reasonable distance (e.g., 0.5 m) above it. It is advisable that the measurement points are uniformly spaced within the sampling area. Local values should be measured in nine or more points. Where the field is reasonably uniform (within ±20%), e.g., in the far-field, measurements suffice in one location, representative of the space that is occupied by a person. Appendix V may be consulted for more information on field measurements and spatial averaging. The spatially averaged values shall be calculated from the following formulae:

$$E = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} E_i^2 \right]^{1/2} ,$$

$$H = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} H_i^2 \right]^{1/2} ,$$

$$W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} W_i ,$$

where n is the number of locations, E_i, H_i and W_i are the electric field strength, the magnetic field strength and the power density, respectively, measured in the i-th location.

2.4.2 Determination

To satisfy the requirements of Sections 2.1.2 and 2.2.2, the *SAR* shall be determined with an uncertainty not greater than ±25 percent. Any suitable and reliable computational or measurement method may be used. Appendix V may be consulted for more information.

2.4.3 Induced and Contact Current Measurements

Under certain conditions, the induced current can exceed the limits specified in Tables 3 and 7, even though the electric field strengths, which are the major contributor to the induced current, are below the limits specified in Tables 1 and 5[8,9]. These conditions may occur when the electric field strength is as low as 25% of the exposure limits.

For any conducting metallic object that a person may come in contact with and that is located in a high-intensity RF field, contact currents shall be measured. An electrical circuit having the impedance of the human body shall be used for measurements. Under certain conditions, the contact current can exceed the current limits specified in Tables 3 and 7, even though the electric field strengths, which are the major contributor to the contact current, are below the limits specified in Tables 1 and 5. These conditions may occur when the electric field strength is as low as 20% of the exposure limits shown in Tables 1 and 5. Appendix V may be consulted for more information.

3. Siting and Installation

3.1 Basic Principles

In order to institute protective measures in areas where RF devices are used, it is necessary to take into account the time workers may spend in these areas. When surveying around RF devices:

(a) field levels shall be known in controlled areas where restricted occupancy is allowed. These areas shall be designated accordingly, and the maximum worker occupancy time shall be posted where applicable, and

(b) exposure as well as induced and contact currents in uncontrolled areas shall not exceed the limits specified in Section 2.2.

3.2 General Recommendations

(a) Warning signs, specified in Section 7.1, or suitable substitutes, indicating the presence of RF fields, shall be posted according to recommendations of Section 7.2 or 7.3.

(b) The areas surrounding unmanned, high-power sources of RF radiation shall be fenced off to prevent unauthorized access to places where an overexposure could occur. If a metallic fence is used, the contact current limits specified in Tables 3 and 7 shall be met.

(c) The siting of an RF device shall take into account the practical possibility of multiple source exposures from fields and leakage from other devices in the vicinity.

(d) Metallic objects that are not necessary shall not be present near any radiating RF device, as they may cause high intensity fields in some locations.

3.3 RF and Microwave Heating Devices

RF and microwave heating devices are used to convert RF energy to heat. They may consist either of electrodes, coil(s) or antenna(s) which produce fields in the object to be heated as well as stray fields in the surrounding region. These devices have applications in the areas of scientific investigation, medical care and industrial processes. Examples of these devices are RF dielectric heaters and sealers for processing dielectric materials and short-wave and microwave diathermy equipment for therapeutic application. When such devices are used, the following recommendations apply:

(a) Where radiated energy is directed into occupied areas, appropriate precautions shall be followed to ensure that exposure of people does not exceed the maximum levels specified in Section 2. Where the maximum level at the operator position exceeds those specified in Section 2, steps shall be taken, e.g., through the use of shielding, to bring unintended exposure levels to those specified in Section 2. Information about the shielding of RF dielectric heaters and sealers is given elsewhere [10].

(b) Where the fields produced by an RF and microwave heating device exceed the limits specified in Section 2.2 in locations accessible to persons not classified as RF and microwave exposed workers, there shall be an indicator that provides a visible warning when the RF power is on. Precautions shall be taken to ensure that when the RF power is on, no such persons are present in the locations where the limits are exceeded.

In evaluating operator exposures, it is advisable to measure induced body current in addition to electric and magnetic field measurements[10].

3.4 Medical Devices and Electromagnetic Interference

It is advisable to use medical RF devices only in a room specifically designed, selected or modified to accommodate the patient and the device. Electromagnetic interference from devices such as shortwave diathermy and electrosurgical units may cause malfunctions, with potentially adverse consequences, to various medical devices, such as electrocardiographs, electromyographs, electroencephalographs, cardiac pacemakers, etc. Other sources of interference are radio, television and radar transmissions as well as mobile communications devices (e.g., cellular telephones, walkie-talkies and vehicle-mounted transceivers)[11]. Electromagnetic interference can generally be eliminated by means of shielding, filtering or grounding of the spurious signals, or relocating the devices being affected. Pacemaker design has improved to the extent that its susceptibility to electromagnetic interference has been largely eliminated. Other medical devices are, or may be, designed to minimize the effects of electromagnetic interference. Information concerning RF electromagnetic interference with medical devices has been reported[12].

3.5 Microwave Ovens

(a) Adjusting applied voltages, replacing the microwave power generating component, dismantling the components of the oven and refitting waveguides, shall be undertaken by persons specially trained for such assignments. The services of a qualified repair person should be sought when any malfunction is suspected.

(b) Special care is required to ensure that no damage occurs to the part of the oven making contact with the door or door seals.

(c) The power mains shall be disconnected before removing the oven outer shell.

(d) Before reaching into the rear compartment of the oven, the high voltage capacitors must be discharged in a safe manner.

(e) The door interlocks shall not be defeated[13].

3.6 Radar and Communications Systems

(a) Wherever possible, the antenna beam shall be directed away from occupied areas. However, if the beam does irradiate occupied areas, the applicable maximum exposure limits given in Section 2 shall be observed. If needed, antenna sweep restrictions or RF power reduction may be employed to prevent the exposure limits from being exceeded in occupied locations.

(b) For any installation that is to be operated, all signs and barriers demarcating areas of restricted or denied occupancy and all interlock systems shall be permanently installed to prevent accidental access to the zone of denied occupancy.

3.7 Electroexplosive Devices

Care shall be taken to ensure that electroexplosive devices are not placed in RF fields of a level sufficient to cause serious risks. Firing circuitry along with the wires of electric blasting caps may, under certain circumstances, pick up sufficient energy from RF fields to cause caps to explode[14]. The susceptibility of the blasting caps to RF fields depends on the frequency, polarization and the strength of the field, and various factors in the design of the detonator – including to what extent it is electrically screened from radio interference. The level of field intensity that may prove hazardous depends on its frequency: the lower the frequency, the more susceptible are the detonators.

4. Safety Procedures for Operators and Maintenance Personnel of RF Devices (RF Workers)

(a) Maintenance personnel and operators of RF devices shall be aware of the potential hazards of RF fields.

(b) Particular care shall be taken to ensure that all people are clear of any direct beam of an RF device before it is switched on for test or maintenance purposes.

(c) Instructions and procedures for repair, maintenance and operation of a device, as specified by the manufacturer or a competent person, shall be readily available to, and be followed by, operators and maintenance personnel.

(d) Replacement components shall be equivalent to original components. Transmission lines, waveguides, gaskets, flanges and similar components shall have the same operating characteristics as the original components or be approved by the manufacturer of the original equipment, or a person trained in the safe use of this equipment.

(e) Testing of a device either before or after completion of any repair work shall be carried out after protective shields, waveguides and other components have been replaced in their designated locations.

(f) The correct operation of electronic test equipment and power meters shall be checked in advance, i.e., prior to using them at the repair station or test site.

(g) Adjustment of voltages, replacement of RF energy generating components, dismantling components or refitting transmission lines shall be undertaken by persons specially trained for such assignments. The services of a qualified repair person should be sought when any malfunction is suspected.

(h) The correct operation of all safety interlocks shall be tested and operators shall not defeat any safety interlock.

(i) An RF generating component shall be tested with an appropriate load connected to its output or with the radiated energy absorbed by anechoic material. The energy generated shall not be allowed to radiate freely into occupied areas.

5. Protection of the General Public

(a) Except under special circumstances, members of the general public shall not be allowed access to areas where levels exceed those specified in Section 2.2.

(b) Where access is possible, warning signs shall be posted at the entrance to any location containing RF devices capable of producing, under normal working conditions, levels that exceed those specified in Section 2.2.

(c) Any device capable of producing leakage that would result in levels close to those specified in Section 2.2 and to which unrestricted public access is allowed, shall be checked for conformity with existing applicable regulations after installation; when malfunction is suspected; and after any modification or repair that might cause leakage.

6. RF Surveys

6.1 RF Survey Procedures

The objective of a survey is to determine whether the device or installation complies with recommended standards of performance and personnel exposure, and to assess the effect of the location of the device with respect to controlled and uncontrolled areas in the environment. The following recommendations are made with respect to RF surveys:

(a) RF surveys shall be carried out by competent persons.

(b) Before routine operations begin, an RF survey shall be conducted for all new installations capable of producing levels exceeding those specified in Section 2.2.

(c) A survey shall be made following any repairs, increases in radiated power or changes in working conditions, protective shielding and barriers that may increase the levels, to ensure that the levels do not exceed the limits specified in Section 2. This refers both to RF and microwave exposed workers and the general public.

(d) A survey shall be conducted when any malfunction that may increase the field levels, induced body currents or contact currents is suspected.

(e) A survey shall be conducted as frequently as practically possible around devices and at installations which are capable of producing fields, induced body currents or contact currents in excess of the limits set out in Section 2.

(f) Survey instruments shall be selected to match the RF source and exposure conditions such as frequency, level of field strength or power density, near- or far-field. It is suggested that the measurement techniques specified in Appendix V be followed. Alternatively, other suitable techniques may be used[15,16]. Survey instruments shall be fully calibrated at least once every three years. Their performance should be checked against another calibrated instrument before carrying out a survey.

(g) During a survey, a complete record of the field parameters (electric field strength, magnetic field strength or power density and induced body and contact currents) at each work site shall be kept to assist in making a realistic evaluation of compliance.

(h) During the inspection of any RF device or installation, all safety interlocks and "ON-OFF" control switches shall be examined and placed in working order. The required warning signs, labels and tags must be readable and properly affixed to the device.

6.2 Records and Recommendations

(a) Records shall be kept of all RF survey measurements and their evaluation. The records shall include the date the measurements were made, number and type of devices in the area surveyed, the locations of measurement with respect to the RF emitting device, names and organization of who conducted the survey, survey results, as well as the model, serial number and calibration date of the measuring instrument(s) used. Other information that may prove useful would be photographs, floor plans, etc.

(b) Recommendations on appropriate changes in shielding, location and operation of the device, based on the evaluation of the survey measurements, shall be made to the person(s) responsible for the device. When a remedial action based on these recommendations has been taken, another survey should be made to verify the effectiveness of the actions.

7. Warning Signs

7.1 Design of the Recommended Warning Signs

Three warning signs described here are suggested for use. These signs or reasonable alternatives shall be used. The suggested signs are designed to indicate the nature and degree of hazard associated with a given device or location. The nature of the hazard is indicated by the symbol, and degree of hazard is indicated by the shape and colour of the sign. The warning signs and their meaning are given below. The size of the sign shall be appropriate to the conditions of use, such that it is clearly distinguishable, being either illuminated or employing reflective materials as necessary.

- The ***CAUTION*** sign is ***BLACK*** text and symbol on a ***YELLOW*** background.
- The ***WARNING*** sign is ***BLACK*** text and symbol on an ***ORANGE*** background.
- The ***DANGER*** sign is ***RED*** text and symbol on a ***WHITE*** background.

The ***CAUTION*** sign is not generally used for area demarcation, but it may be placed on devices to indicate that they produce RF fields. All RF devices for which regulations have been promulgated under the Radiation Emitting Devices Act have the ***CAUTION*** sign as part of their labelling requirements. For example, all microwave ovens complying with the Microwave Oven Regulations have the Caution sign attached. Both the ***WARNING*** and ***DANGER*** signs are used for identifying hazardous devices and for area demarcation.

7.2 Area Demarcation

(a) A ***WARNING*** sign shall be placed at the entrance of any zone within which a survey has shown that RF levels exceed those specified in Section 2.2 but are less than those specified in Section 2.1. The ***WARNING*** sign indicates that restricted occupancy is allowed

for RF and microwave exposed workers within its boundaries. It shall be located wherever it is necessary to indicate a recommended occupancy time. In such cases, the ***WARNING*** sign shall be accompanied by words such as "Warning Radiofrequency Radiation – Maximum Occupancy Time (t) Minutes" and the French equivalent, where t is determined according to the limits specified in Appendix II, taking into account 0.1 h averaging time.

(b) A ***DANGER*** sign shall be placed at the entrance of any zone where the field levels are in excess of those specified in Section 2.1. The ***DANGER*** sign thus indicates a ***DENIED ACCESS*** zone. When used for area demarcation, the ***DANGER*** sign shall be accompanied by words such as "Danger Radiofrequency Radiation – Do Not Enter" and the French equivalent.

(c) The signs shall be clearly visible and identifiable at all viewing distances where either significant exposures can occur or at the entrances to restricted area zones.

7.3 Signs for the Labelling of Devices

When the signs are used for labelling a device, the following recommendations apply:

(a) A ***WARNING*** sign shall be applied to any device, under development or in use for any industrial, scientific or medical purposes, if the device produces exposure levels that exceed those specified in Section 2.2 but are below those specified in Section 2.1. The ***WARNING*** sign shall be applied to a device if misuse or failure could cause RF radiation injury.

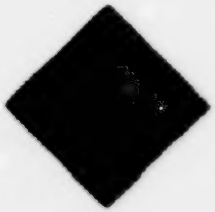
(b) A ***DANGER*** sign shall be applied to any device under development or in use for any industrial, scientific or medical purposes, if it produces exposure levels in excess of those specified in Section 2.1. Furthermore, even though exposure levels are below those specified in Section 2.1, the ***DANGER*** sign shall be applied if failure of the device could cause serious RF radiation injury or death.

AREA DEMARCATION

CAUTION

RADIOFREQUENCY RADIATION

- Area of Unrestricted Occupancy
- Minor Injury Possible from Misuse



WARNING

RADIOFREQUENCY RADIATION

- Area of Restricted Occupancy
  (RF Workers Only)
- Serious Injury Possible from Misuse

DANGER

RADIOFREQUENCY RADIATION

- Area of Denied Occupancy
- Critical Injury or Death Possible

Appendix I
Maximum Exposure Limits for RF Fields – Graphical Representation

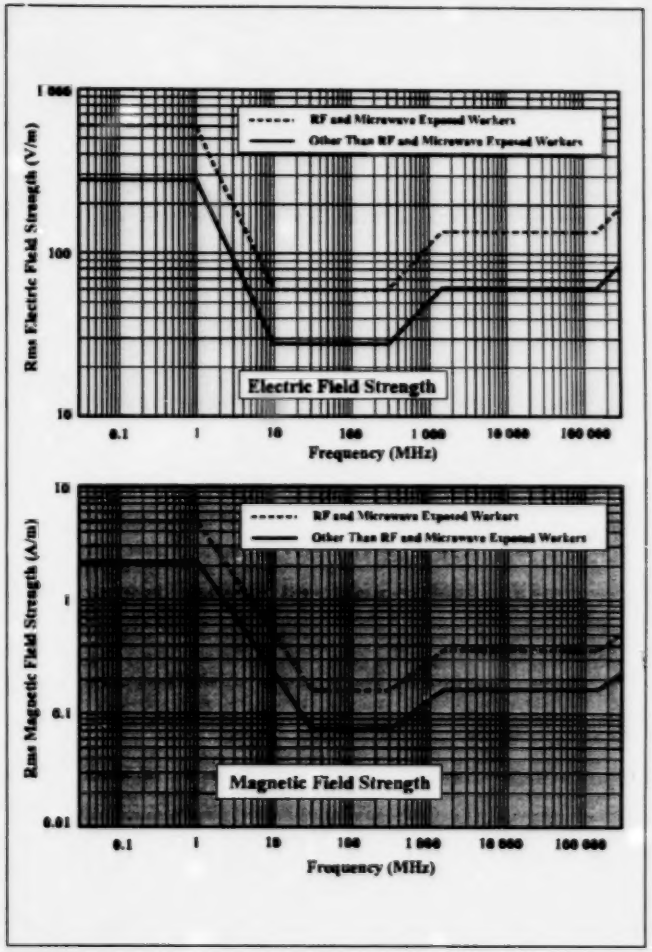


Figure I-1
Maximum Electric and Magnetic Field Strengths

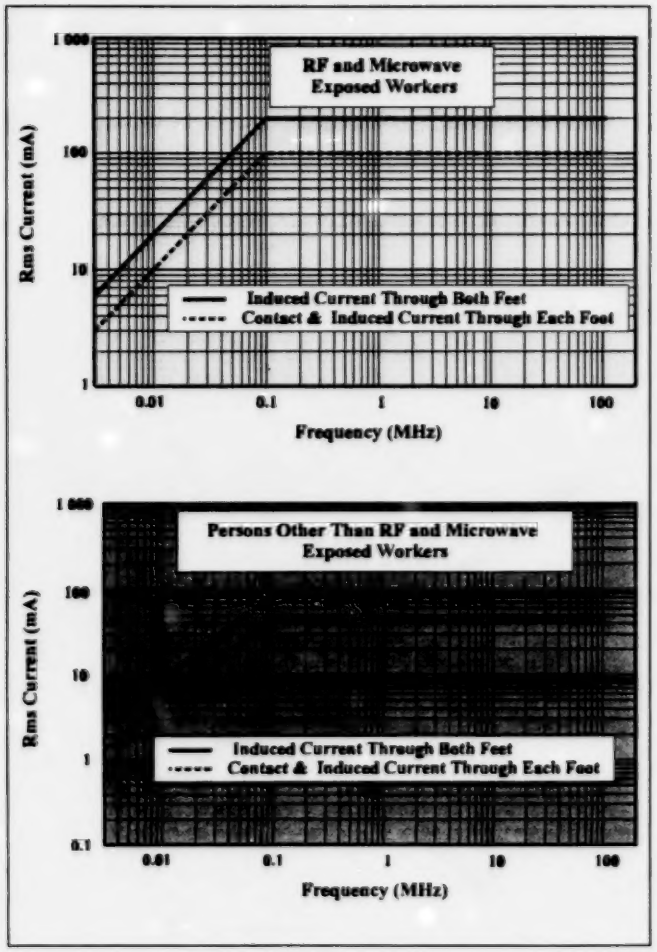


Figure I-2
Maximum Induced and Contact Currents

Appendix II
Maximum Exposure Duration for Time Periods Less Than 0.1 h and Frequencies Below 15 000 MHz

For exposure durations less than 0.1 h (6 min), higher exposure limits than those specified in Tables 1 and 5 are permitted. For the general public, this is not a very practical situation, as it is usually difficult to control how long a person can remain in a particular location where higher RF fields are present. However, it may be applied to devices operating in an intermittent manner, e.g., where RF power is on, for example, for 2 minutes every 10 minutes.

For RF workers, exposures to higher fields for short periods of time may be necessary for operational purposes. Exposure durations shall then be strictly controlled in order not to exceed the limits specified in Section 2.1.1. One minute is assumed here to be the shortest duration which is of practical importance.

Elevated exposures of electric and magnetic fields or power density are allowed for durations shorter than 0.1 h (6 min) as long as the equations in Section 2.3.1 apply.

Appendix III
Theoretical Estimation of Exposure Fields

A. Near-Field and Far-Field Zones

Sources of RF electromagnetic fields may have widely different characteristics. For the purpose of evaluation of human exposure and protection against potentially harmful exposures, RF sources can be divided as follows:

(a) small antennas; i.e., antennas whose dimensions are less than the wavelength (λ),

(b) large antennas; i.e., antennas whose dimensions are greater than the wavelength, and

(c) sources producing leakage (stray) fields, e.g., RF dielectric heaters, RF induction heaters, radar components.

The space around a source antenna is often divided into two zones: the near-field zone and the far-field zone (Figure III.1). The near-field zone can be further divided into two regions: the reactive near-field region and the radiating near-field region. The region of space immediately surrounding the antenna in which the induction (reactive) field exists is known as the reactive near-field region. Most electromagnetic energy in this region is not radiated but is stored. The near-fields vary rapidly with distance. At a short distance further away from the antenna, the reactive near-field is decreased significantly, and the radiating near-field predominates. In the radiating near-field region, the energy propagates away from the antenna, but the radiation still lacks a plane-wave character. Beyond the radiating near-field region is the far-field zone, in which the field strength varies inversely with distance from the antenna.

Small Antennas. An antenna whose greatest dimension is no greater than the wavelength of its recommended operating frequency is often referred to as a small antenna. Examples of small antennas are resonant dipoles, Yagi and log-periodic antennas. The reactive near-field region of these antennas extends up to a distance given below[3]

$$R_r = \lambda/2\pi\,, \qquad \text{(III.1)}$$

where

R_r = extent of the reactive near-field region, in metres (m)

λ = wavelength, in metres (m).

For this type of antenna, there is no general formula for estimation of the field strength in the near-field zone. However, reasonable calculations can be made for some antennas (e.g., dipoles or monopoles). In general, for most small antennas, theoretical estimation of exposure in the near-field zone is difficult, and only measurements can provide a simple means of field evaluation.

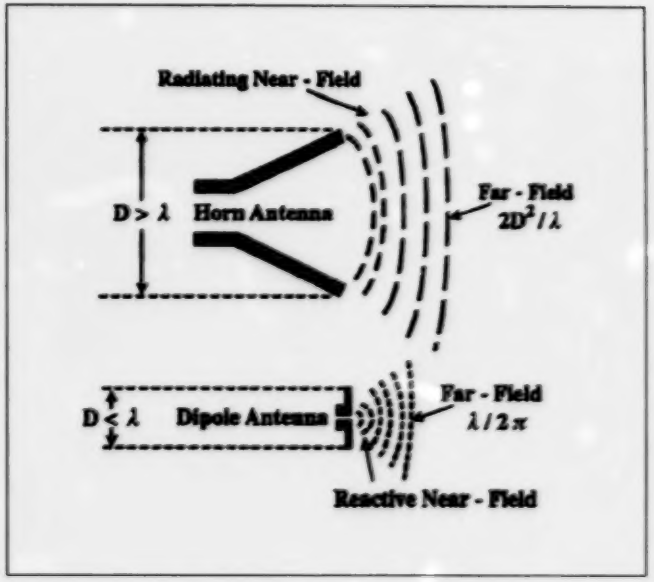


Figure III-1
Antenna size versus separation of the radiating near-field region, the reactive near-field region, and the far-field zone[3].

Large Antennas. An antenna with its greatest dimension greater than the wavelength of its recommended operating frequency may be considered as a large antenna. Examples of large antennas are parabolic reflectors, arrays and horn antennas. The near-field zone of these antennas consists of the reactive region extending to the distance given by equation (III.1), followed by a radiating region. In the radiating near-field region, the field strength does not necessarily decrease with distance away from the antenna, but may exhibit an oscillatory character. More information on the field distribution in the radiating near-field region of aperture and reflector antennas can be found elsewhere[15,17,18].

In much of the literature, the distance from the antenna to the far-field zone is taken to be $2D^2/\lambda$, where D is the greatest dimension of the antenna and λ is the wavelength. At this distance, the maximum phase difference of electromagnetic waves coming from different points on the antenna is 22.5 degrees[19]. In the case of radiation hazard assessment, however, a larger phase difference and thus a shorter distance marking the beginning of the far-field zone is acceptable. A realistic practical distance from a large antenna, e.g., a parabolic reflector, where the far-field zone begins is[3]

$$R_f = 0.5\, D^2/\lambda\,, \qquad \text{(III.2)}$$

where

R_f = distance which marks the beginning of the far-field region, in metres (m)
D = the greatest dimension of the antenna, in metres (m)
λ = wavelength, in metres (m).

For commonly used horn and reflector antennas, the maximum power density (within the antenna beam) for distances less than R_f (in the near-field zone) can be conservatively estimated as[15, 17, 18]

$$W_m = 4P_T/A\,, \qquad \text{(III.3)}$$

where

W_m = maximum power density, in watts per square metre (W/m^2)
P_T = net power delivered to the antenna, in watts (W)
A = physical aperture area, in square metres (m^2).

It should be noted that towards the end of the radiating near-field region and in the far-field zone, the electric and the magnetic fields are interrelated with each other and with the power density as follows:

$$E/H = \eta \qquad \text{(III.4)}$$

and

$$W = E^2/\eta = H^2\eta\,, \qquad \text{(III.5)}$$

where

E = electric field strength, in volts per metre (V/m)
H = magnetic field strength, in amperes per metre (A/m)
W = power density, in watts per square metre (W/m^2)
η = characteristic impedance (for free space η = 377 ohms).

In the far-field region, the power density (W) on the main beam axis can be calculated from the expression

$$W = EIRP/(4\pi r^2) = P_T G/(4\pi r^2)\,, \qquad \text{(III.6)}$$

where

$EIRP$ = effective isotropically radiated power, in watts (W)
r = distance from the antenna, in metres (m)
P_T = net power delivered to the antenna, in watts (W)
G = antenna gain (power ratio) with respect to an isotropic antenna.

Equation (III.6) can be used to estimate W at distances greater than R_f (equation III.2)[15,18]. For distances just slightly greater than R_f, equation (III.6) gives an overestimate of W no greater than 0.8 dB or 20%[20].

The antenna gain is related to the antenna dimensions by the following equation[19]

$$G = 4\pi A_e/\lambda^2\,, \qquad \text{(III.7)}$$

where

A_e = effective area of the antenna, $A_e = \varepsilon A$
A = physical aperture area of the antenna, in square metres (m^2)
ε = antenna efficiency (typically $0.5 \le \varepsilon \le 0.75$)
λ = wavelength, in metres (m).

An electromagnetic wave can also be characterized by the electric field strength and magnetic field strength. The rms electric field strength at a distance r from a source with the $EIRP$ on the main beam axis, as derived from (III.5) and (III.6), is equal to

$$E = [30\,EIRP]^{0.5}/r, \qquad \text{(III.8)}$$

and is expressed in volts per metre (V/m).

Graphs relating power density and electric and magnetic field strengths in free space are shown in Figure III-2.

Equations (III.6) and (III.8) are used to determine the power density and field strength in the far-field region in a worst case condition where maximum power gain (Equation III.7) is applied. It should be noted that it is not always possible to predict the levels of maximum fields in and around sites of concern. This is due to the fact that RF fields may be absorbed, reflected and refracted by objects in a random and unpredictable manner. As such, the only way to determine actual levels of RF fields is by measurement.

Sources Producing Leakage Fields. For leakage radiation sources, there is no reliable method of estimation of the extent of the near-field zone, its type (whether reactive or radiating region) or the field strengths.

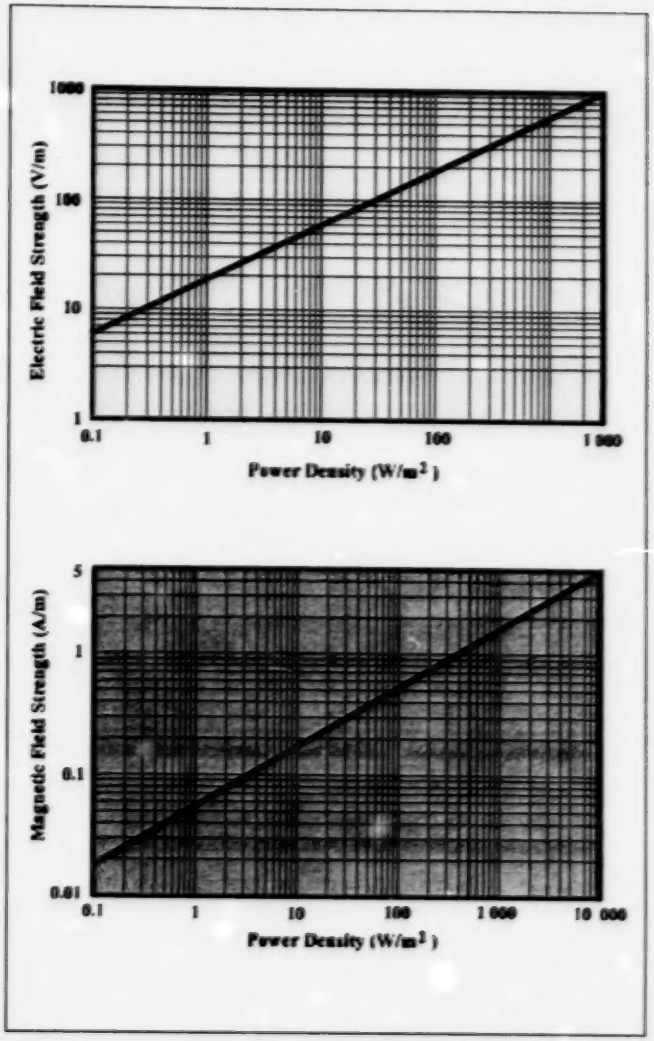


Figure III-2
Conversion Charts for Plane Wave (10 W/m^2 = 1 mW/cm^2)

Example III.1: Calculation of Minimum Distance Where Exposures Fall within the Limits.

A 0.5-m diameter parabolic antenna, operating at 1.20 GHz (1200 MHz) with an *EIRP* of 50 *W* is to be installed in an area accessible to the general public. What is the minimum distance from the antenna where the exposure does not exceed the limits for the general public?

1. Calculate the maximum power density exposure limit for the general public (Table 5):

$$W_{limit} = f/150$$
$$= 1200/150$$
$$= 8\ W/m^2$$

2. Calculate the minimum distance by rearranging equation (III.6) to solve for the distance from the antenna r:

$$r_{min} = [EIRP/(4\pi W_{limit})]^{0.5}$$
$$= [50.0/(4.0 \times 3.14159 \times 8.0)]^{0.5}$$
$$= 0.705\ m$$

3. Check to make sure that the minimum distance calculated above is in the far-field zone (where equation III.6 is valid):

First calculate the wavelength:

$$\lambda = 300/f \quad (f \text{ in MHz})$$
$$= 300/1200$$
$$= 0.25\ m$$

As this antenna diameter is larger than the wavelength (λ), it may be considered as a large antenna. Thus, the beginning of the far-field region is calculated using equation (III.2) where in this case the parameter D is taken to be the diameter of the dish:

$$R_f = 0.5\ D^2/\lambda$$
$$= 0.5 \times (0.5)^2 / 0.25$$
$$= 0.5\ m$$

Since the minimum distance, as calculated above, is in the far-field zone of the antenna, the basis for the calculation is valid. Therefore, members of the general public should not stand closer than 0.705 m directly in front of the antenna.

B. Average Power of Pulsed Waves

A pulse-modulated wave (pulsed wave) is shown in Figure III-3.

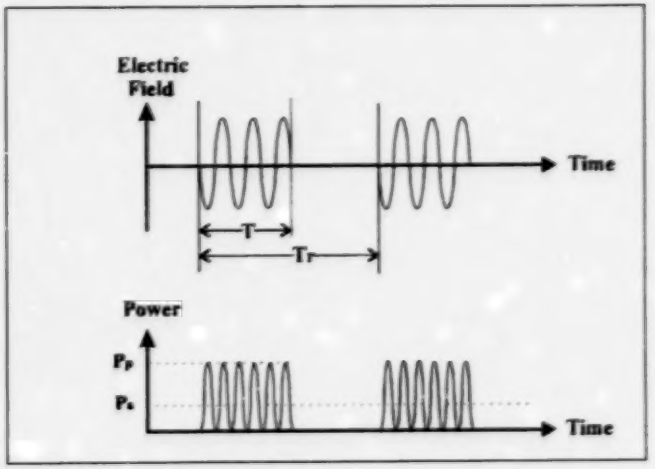


Figure III-3
Pulse-Modulated Field

This type of radiation is characteristic of radars.

The duty factor (F) can be calculated as

$$F = T/T_r, \qquad \text{(III.9)}$$

where

T = pulse duration, in seconds (s)
T_r = time lapse between the start of consecutive pulses, in seconds (s).

The pulse repetition frequency is equal to

$$f_p = 1/T_r, \qquad \text{(III.10)}$$

where

f_p = pulse repetition frequency, in hertz (Hz)
T_r = time lapse between the start of consecutive pulses, in seconds (s).

The average power P_a for a pulsed wave can be calculated as

$$P_a = P_p F, \quad \text{(III.11)}$$

where

P_p = peak power, in watts (W)
F = duty factor.

Similarly for the average power density W_a

$$W_a = W_p F, \quad \text{(III.12)}$$

where

W_p = peak power density, in watts per square metre (W/m^2)
F = duty factor.

C. Scanning Antennas

The effective power density as seen from a stationary point for a scanning antenna in motion can be estimated from the power density measured with the antenna stationary using the expression:

$$W_m = KW_s, \quad \text{(III.13)}$$

where

W_m = effective power density for the antenna in motion, in watts per square metre (W/m^2)
K = antenna rotational reduction factor
W_s = power density measured on the main beam axis of the stationary antenna at a given distance, in watts per square metre (W/m^2).

The rotational reduction factor for the near-field region is equal to

$$K = a/R_\phi, \quad \text{(III.14)}$$

where

a = the dimension of the antenna in the scan (rotation) plane, in metres (m).
R_ϕ = $r\phi$ = the circumference of the antenna scan sector at the given distance (r), in metres (m), at which the measurements have been done (Figure III-4).
ϕ = scan angle, in radians.

The rotational reduction factor for the far-field region is

$$K = \text{3 dB beamwidth / scan angle} \quad \text{(III.15)}$$

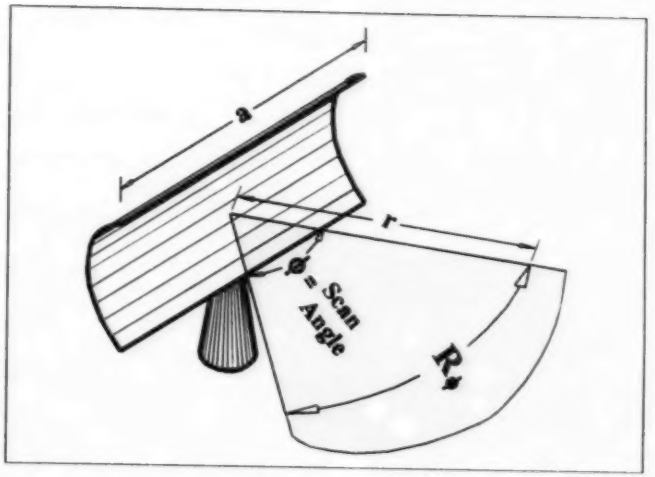


Figure III-4
Rotational Reduction Factor in the Near-Field

Example III.2:

Estimate the near-field maximum power density in front of the antenna of a radar system with the following characteristics:

Operating frequency (f):	10 GHz (gigahertz)
Transmitter peak power (P_p):	1 MW (megawatts)
Pulse duration (T):	3 μs (microseconds)
Pulse repetition frequency (f_p):	400 Hz
Antenna dimension (D):	5 m in diameter (parabolic dish)

Steps of calculation:

(i) The wavelength $\lambda = 300/f$ (f in MHz)
$= 0.03$ m

(ii) The distance where the far-field region begins
$R_f = 0.5\, D^2/\lambda = 417$ m

(iii) The antenna physical aperture area $A = \pi D^2/4 = 19.63$ m^2

(iv) The duty factor $F = Tf_p = 1.2 \times 10^{-3}$

(v) The average power $P_a = P_p F = 1.2$ kW.
This is the net power delivered to the antenna, P_T.

(vi) The maximum power density (within the near-field region of the antenna beam)
$W_m = 4P_T/A = 244.5$ W/m^2

Exposure of a person in the near-field region should be avoided or limited to a short duration since the power density exceeds the limits (50 W/m^2 for RF and microwave exposed workers, 10 W/m^2 for the general public).

Example III.3:

Determine the effective power density at 10 m and 30 m from a scanning antenna in motion, given the following parameters:

Power density at 10 m with the antenna stationary:	100 W/m^2
Power density at 30 m with the antenna stationary:	20 W/m^2
The distance where the far-field region begins:	20 m
Antenna rotation (ø):	full (360° or 2π radians)
Antenna aperture dimensions (a, b):	2 m wide, 10.16 cm high
Antenna beamwidths:	1.23° horizontal, 25° vertical

Calculation:

(i) The 10 m location is in the near-field region. At this location,
The circumference of the antenna scan $R_\phi = 2\pi \times 10$ m
The rotational reduction factor $K = a/R_\phi = 2/(2\pi \times 10) = 0.1/\pi$
The effective power density when the antenna is in scanning mode
$W_m = KW_s = (0.1/\pi)(100) = 3.2$ W/m^2

(ii) The rotational reduction factor is different, since the 30 m location is in the far-field.
K = 3 dB beamwidth / scan angle = 1.23°/360°
The effective power density when the antenna is in scanning mode
$W_m = KW_s = (1.23/360)(20) = 0.07$ W/m^2

Appendix IV
Limits of Exposure to Pulsed RF Fields

1. While the average power density of pulsed waves shall be within the limits specified in Tables 1 and 5, the peak value of the instantaneous electric field strength (temporal peak) of the wave shall not exceed 100 kV/m (Sections 2.1.4 and 2.2.4). Calculation of the average power density is discussed in Appendix III.B.

2. For exposures to pulsed RF fields of pulse durations less than 100 milliseconds (ms) and frequencies in the range of 0.1 MHz to 300 000 MHz, the exposure limit in terms of peak power density for a single pulse is based on limiting the energy density of a single pulse according to:

   a. Energy density of a single pulse must be no greater than one-fifth of the maximum allowable energy density in a 0.1 h time period. In mathematical terms, this is given by[5]

$$W_P = \frac{W_L T_a}{5 T} ,$$

where

W_P = peak power density exposure limit for a single pulse, in W/m^2
W_L = continuous wave exposure limit as specified in Table 1 or 5, in W/m^2
T = pulse duration as defined in Appendix III.B, in seconds
T_a = averaging time as specified in Table 1 or 5, in seconds. A maximum of five such pulses is permitted during any period equal to the averaging time.

   b. If there are more than 5 pulses during any period equal to the averaging time, or if the pulse durations are greater than 100 ms, normal time averaging applies, except that the energy density delivered during any 100 ms period is limited by the formula

$$\Sigma W_P T = \frac{W_L T_a}{5} .$$

Appendix V
Measurements and Evaluation

A. RF Fields

The area around any RF source is generally divided into two zones: the near-field zone, and the far-field zone. More information on this subject can be found in Appendix III and references[15,18,21]. In many RF safety surveys, the exposure levels have to be determined in the near-field zone of the source. Not infrequently, the field comprises RF radiation from several sources. Difficulties can be encountered in determining field strengths and power density of such fields, as outlined in references[15,21], and special care should be devoted to the selection of a survey instrument. Only instruments that are designed for operation in the frequency range required shall be used.

A.1 Basic Characteristics of Survey Meters

In surveying fields in the near-field zone of an antenna or in close proximity to a device, both electric field and magnetic field strengths shall be measured where possible. However, instrumentation for the measurement of magnetic fields at certain frequencies may not be commercially available. In this case, the electric field strength shall be measured. In the far-field zone, it is sufficient to measure any of the following parameters: electric field strength, magnetic field strength or power density. Many meters have indicators that are calibrated in power density units (e.g., mW/cm^2), but the quantity actually measured may be the square of the strength of the electric or magnetic field. It must be remembered that power density measurements in the near-field zone are not meaningful for the evaluation of exposure levels. The information about the measured field parameter is normally provided in the instruction manual.

If the frequency range covered by one survey instrument is narrower than the frequency range of the fields generated by the RF sources in the vicinity of the site surveyed, as many instruments as necessary shall be used to determine the fields in the whole range of frequencies.

Since, in the majority of RF surveys, the orientation(s) of the electromagnetic field vector is not known, a survey meter having an isotropic detecting element is preferred.

If the only meter available is one having a single-axis detecting element, measurements of the total field can be performed by employing three mutually perpendicular orientations of the detecting element and calculating the resultant field from the following equations:

$$E = [E_1^2 + E_2^2 + E_3^2]^{1/2} \quad \text{(V.1)}$$

or

$$H = [H_1^2 + H_2^2 + H_3^2]^{1/2} \quad \text{(V.2)}$$

or

$$W = W_1 + W_2 + W_3 , \quad \text{(V.3)}$$

where the subscripts *1*, *2* and *3* refer to measurements in the three mutually orthogonal orientations.

In performing survey measurements in the near-field of an RF source, a meter suitable for operation in the near-field shall be employed. Special care is required to avoid perturbing the field by the instrument (e.g., the meter casing, but not the field probe), and by other objects or people in the vicinity.

When amplitude or frequency modulated and especially pulsed fields are surveyed, the meter response to such fields shall be evaluated to determine if it is capable of measuring these types of fields.

A survey instrument shall be calibrated against a standard every three years and its operation checked at least once a year or after any repair that may affect its operation.

Exposure levels in the vicinity of RF sources having scanning (rotating) antennas may have to be determined with the antenna stationary, because of the limitations of the available measuring instruments. The exposure conditions when the antenna is in motion are then evaluated using methods described in Appendix III (Section C). More detailed information about measurements of potentially hazardous RF fields can be found in references[15,16,18,21].

A.2 Spatial Averaging

In conducting RF field surveys, locations accessible to people where maximum field strengths exist are identified. Even in the far-field of an RF radiator, the field strengths may vary over the cross-sectional (projected) area of a human body (approximately 0.6 m^2) because of ground reflections and scattering from nearby objects. As a result, spatial averaging is required in most cases.

Frequently, exposure is in the near-field or in close proximity to reflecting objects where the fields are spatially non-uniform. A method for performing a spatially averaged measurement is as follows:

(a) determine the location of the maximum field.

(b) establish around the location of the maximum field a grid of points within approximately 0.35 m (width) x 1.25 m (height) surface area, at a reasonable distance (e.g., 0.5 m) above the floor or ground and perpendicular to it. These points should be uniformly spaced within the grid with the point of the maximum field included.

(c) measure the field strength in all points of the grid.

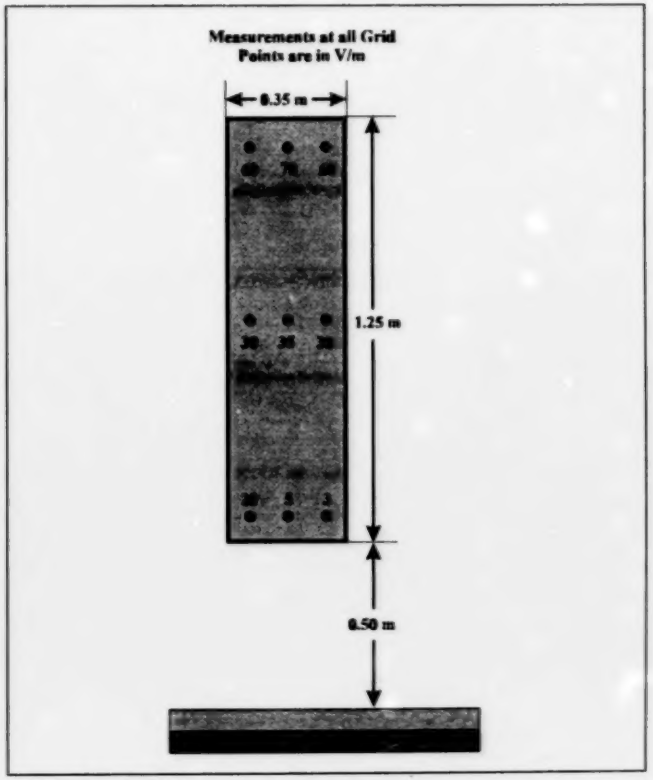
(d) calculate the average field.

Note: A person performing measurements shall approach the exposure source from afar to avoid overexposure. In questionable situations, measurements may be performed with the output power of the source reduced, or the person may gradually approach the source while monitoring the field.

The average field strength along a grid of n points may be calculated from the equation

$$F = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^{n} F_i^2 \right]^{1/2} ,$$

where F_i is the rms field strength measured at the point i. An example of a measurement grid for the spatial averaging is given in Figure V-1.



$E = (1/\sqrt{9})\ [20^2 + 5^2 + 3^2 + 30^2 + 35^2 + 30^2 + 60^2 + 70^2 + 60^2\ ]^{1/2} = 41.6$ V/m

Figure V-1
Example of a Grid for Measurements of a Non-Uniform Electric Field of 27 MHz and the Calculation of the Average Field

B. *Specific Absorption Rate (SAR)*

A very careful and well documented assessment of *SARs* has to be performed for conformity with the requirements of Sections 2.1.2 and 2.2.2. It should be remembered that the internal field within a human body, and thus the *SAR*, are not related to the external field in a simple way.

Determination of *SARs* for near-field exposures of humans is difficult and can be done only on simulated models of the human body under laboratory conditions. Both computational methods and measurements are feasible. To be valid, they have to be reliable and reasonably accurate.

There are two general approaches in computational methods[22]. One involves the use of an analytical technique for calculation of distribution of absorbed energy in simplified tissue geometries such as plane slabs, cylinders and spheroids. The other uses a numerical formulation for analysing the coupling of radiofrequency energy to human bodies. Examples of numerical methods for *SAR* calculations are the impedance method, the method of moments and the finite-difference time domain (FDTD) technique. Detailed representations of the complex geometry and composition of the human body have been made available using data from computerized tomography and magnetic resonance imaging scans. Recent advances in computers (memory and speed) and in the FDTD technique have led to the development of a tool for analysis of *SAR* in the human head from various cellular telephones[23,24,25]. This numerical tool allows a detailed modelling of anatomically relevant human inhomogeneities, such as those in the head, that are difficult to model experimentally. Software for numerical calculation of local and regional *SARs* is commercially available, but at the time of writing, there is not enough information to discuss the calculation accuracy.

Measurement methods have been developed for determination of *SAR* in experimental animals and models made of tissue-equivalent synthetic material[26,27]. Such simulated models are referred to as phantoms. Measurement methods are used to verify the accuracy of numerical calculations. There are two basic methods for *SAR* measurements. One is to use a temperature probe to measure the temperature change caused by the heat produced by the absorbed RF energy, and then calculate *SAR* from[15]

$$SAR = c \frac{\Delta T}{\Delta t} ,$$

where ΔT is the temperature rise (in °C) within the time interval Δt (in seconds), and c is the tissue (or phantom material) specific heat capacity, in J/kg°C. Calculations of *SARs* from temperature rise can be done only if the temperature rise is linear with time. This method is appropriate for local *SAR* measurement when the exposure levels (irradiating fields) are intense enough so that the temperature rise is not influenced significantly by heat transfer within and out of the body.

The second basic method for *SAR* determination is to measure the electric field inside the body with implantable electric field probes and then calculate the *SAR* from

$$SAR = \sigma E^2/\rho ,$$

where σ is the tissue conductivity (S/m), E is the rms electric field strength induced in the tissue (V/m) and ρ is the mass density (kg/m^3). This method is suitable only for measuring *SAR* at specific points in the body and for low values of *SAR* where the absorbed energy is insufficient to cause a detectable change in temperature. Instrumentation for this type of *SAR* measurement method usually includes an implantable electric field probe, a phantom and a computer controlled system for positioning the probe[28,29]. This instrumentation has recently become commercially available and has been used to test portable transmitters for compliance.

More information about various methods of *SAR* determination can be found in references[15,21,30-34]. New methods may become available after publication of this document.

C. Contact and Induced Currents

C.1 Contact Current

An RF field induces an alternating electric potential on ungrounded or poorly grounded conducting (metallic) objects such as cars, trucks, buses, cranes and fences. When a person touches such objects, RF current flows through the person to ground (Figure V-2). The amount of the current depends on the object (its size, shape), the frequency and strength of the field and the person's impedance. The impedance in turn depends on the person's height, weight and body composition (ratio of the lean to fat body mass), type of contact (surface area of contact, i.e., finger or grasp, skin wet or dry), and the type of footwear. The impedance also varies with the frequency of the RF field.

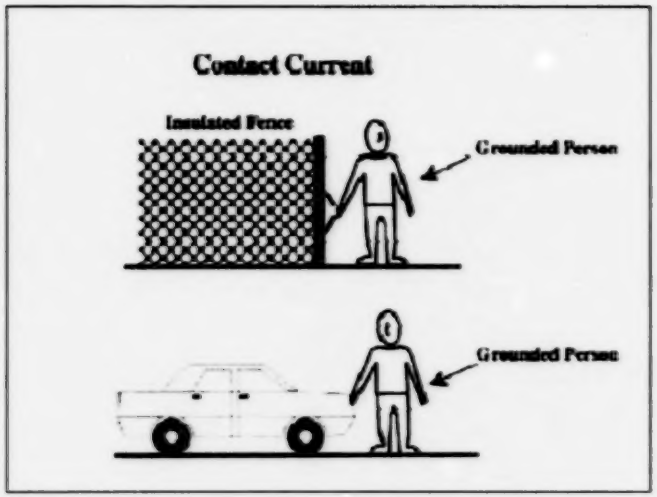


Figure V-2
Typical Situations Where Currents Can Be Perceived by Persons Touching Ungrounded or Poorly Grounded Conducting Objects

Contact current flowing through the person is perceived at a certain level; at a higher level it becomes painful and at a still higher level may cause an injury (e.g., local burn, respiratory tetanus, heart effects). Below a frequency of about 100 kHz the perception is of a tingling, prickling feeling in the finger or hand touching the object. At higher frequencies heat is perceived. Thresholds for perception and pain under various conditions have been measured and more information can be found in references[35, 36].

Currents below the limits set in Section 2.1.3 (Table 3) for RF and microwave exposed workers will not cause pain, but may be perceived. Since females are more sensitive[35,36], the lower percentile (more sensitive) was selected for setting the limits. Currents below the limits set in Section 2.2.3 (Table 7) will not be perceived. In this case extrapolated data for children were used[35, 36].

Contact currents are evaluated using an electronic circuit representing the impedance of the average human body in grasp contact with an insulated, conductive object, energized by an RF field. More information about the equivalent human impedance can be found elsewhere[37, 38].

An evaluation for compliance with the limits for contact currents (Tables 3 and 7) should be made with an appropriate instrument. Contact current meters are commercially available.

C.2 Induced Current

Even though a person may not be touching a metallic object, RF currents which are induced in the body by RF fields may flow through the body to ground.

Induced current through both feet can be measured by using a clamp-on current probe or a low profile platform consisting of two parallel conductive plates isolated from each other and one located above the other. If the latter is used, the platform is placed on the surface where the person stands, and a person or a human equivalent antenna is placed on the upper plate of the platform. A voltage drop on a low-inductance resistor placed between the plates provides a measure of the induced current.

An evaluation for compliance with the limits of induced currents should be made with an appropriate instrument. A person or a human equivalent antenna should stand upright on the platform of the induced current meter. Induced current meters and human equivalent antennas are commercially available.

Appendix VI
X-Radiation

In general, high power systems utilizing high-voltage transmitting or other high-power tubes (greater than about 20 kV) have potential to emit x-radiation. Because high power RF devices often require high operating voltages, it is considered appropriate to include in this Safety Code a few pertinent details regarding x-radiation safety. When the manufacturer's data or other observations indicate that a device may generate x-radiation, the following procedures and exposure limits are recommended:

(a) The RF power generating component shall be inspected to determine if specified x-radiation shields are in their designated locations.

(b) With the shields correctly positioned on the device, a survey shall be conducted to ensure that the x-radiation exposure does not exceed 0.5 mR (milliroentgen) in an hour at 5 cm from any accessible external surface of the device (0.5 mR = 129 nC/kg). The survey shall be conducted by personnel knowledgeable in measurements of x-radiation and in interpreting the results.

(c) Survey instruments used for the measurement of x-radiation intensity shall not be susceptible to RF radiation. See references[39-41].

(d) Survey procedures, reports and records shall be similar to those applied in Radiation Surveys as specified in Sections 6.1 and 6.2.

Appendix VII
Rationale for Changes to the 1991 Version of Safety Code 6

1. Portable Transmitters and Exemption Clause

These devices are normally used in close proximity to the human body (within 2.5 cm), and therefore direct measurements of electric and magnetic fields do not give a reliable exposure level. In the 1991 version of Safety Code 6, portable transmitters operating below 1 GHz with radiated power of 7 W were exempt from compliance with the *SAR* requirements specified in Sections 2.1 and 2.2, regardless of the distance.

Recent scientific information[42] indicates that certain devices (e.g., cellular telephones), which were previously exempt, produced exposures in excess of the *SAR* limits specified in Section 2.2. Thus, the exemption clause stated in the previous Safety Code 6 has been removed.

2. Time Averaging

The time factor of 0.1 h (6 min) may be considered as a thermal time constant. An exposure time of 0.1 h or longer will allow such mechanisms as heat conduction, blood circulation and thermoregulation to influence the temperature rise in a given body region[43].

At frequencies above approximately 15 000 MHz, the time period over which exposure is averaged needs to be reduced to prevent skin burns. As the frequency increases, the power from RF fields is deposited within an increasingly thin layer of skin and subcutaneous tissue. The new limits bring the maximum allowed level at 300 000 MHz (wavelength 1 mm) into agreement with that specified in the ANSI laser standard at the same frequency[44], in accordance with the CENELEC proposal[45]. Since at frequencies above 15 000 MHz all power is superficially deposited in the human body,

considerations used in the derivation of exposure limits at lower frequencies (see Section 2) become less relevant. At the same time, skin burns become the limiting factor for both occupational as well as other exposures.

The 0.1 h time period over which exposure is averaged is not valid for the case of induced and contact currents at frequencies lower than about 100 kHz, where RF shock or burn may be possible. For the purpose of determining compliance with the limits specified in Sections 2.1.3 and 2.2.3, the currents should be measured with an instrument having an averaging time no greater than 1 second.

3. Peak Field Strength Limit

The electric field limit of 100 kV/m for single and multiple pulses is recommended for prevention of air breakdown and spark discharges. Additional clauses with respect to pulsed RF fields, similar to those in IEEE Std C95.1-1991 – 1999 Edition, have been added in Appendix III. The rationale for these clauses refers to auditory effects and energy-induced unconsciousness in rats. The basis for this limit is to reduce the energy absorption for each of the pulses to 20% of the energy absorption allowed under continuous wave exposures.

4. Contact Current Limits

The revised limits in this Code provide the same health and safety protection as the previous limits. The differences in numerical values reflect a different protocol for measurements in the establishment of conformity to the Code. These revised limits are identical to those in the IEEE Std C95.1-1991 – 1999 Edition standard. The selection of a specific formulation of the clauses and test procedures in the ANSI standard have resulted in the development of commercial instruments suitable for conformity testing. The circuits recommended in Appendix IV Part C of the previous Safety Code 6 have not been produced commercially and, therefore, are removed from this document. Instead, the clauses and test procedures in IEEE Std C95.1-1991 – 1999 Edition are recommended to facilitate conformity evaluation.

5. Induced Current Limits

Currents which are induced in the body by RF fields may flow through the body to ground. These limits have therefore been introduced in order to minimize shocks and burns due to RF field exposure, even though the measured fields are within the exposure limits specified in Sections 2.1.1 and 2.2.1[8].

The perception of currents at frequencies lower than 70-100 kHz is quite different than that from currents at higher frequencies. While the perception is one of tingling or pricking sensation at frequencies lower than about 100 kHz, the sensory perception is that of warmth at the higher frequencies[46]. Different current averaging times are, therefore, suggested for the induced and contact current limits given in Tables 3 and 7.

6. *SAR* Limits

In the 1991 version of Safety Code 6, Section 2.1.2, the limit for the *SAR* at the body surface and in the limbs (averaged over 10 g of tissue) was 25 W/kg. In response to the latest scientific information[4,5], the limit has been reduced to 20 W/kg. Also in the 1991 version of Safety Code 6, the power density limits for the general public were set at one-fifth of the values for RF and microwave exposed workers. For the sake of consistency, the *SAR* limits for the general public (Section 2.2.2) have been adjusted to one-fifth of the values given in Section 2.1.2.

The *SAR* limits for the eye, specified in the 1991 version of Safety Code 6, were based on the experimental data reported by Kues *et al.*[47]. This report described that ocular exposure of anesthetized primates to 100 W/m^2 pulsed fields at 2.45 GHz (*SAR* = 2.6 W/kg) and 200 W/m^2 continuous-wave field (*SAR* = 6.3 W/kg) for 4 h/d resulted in endothelial cell damage in the primate corneas. Although the changes appeared reversible, some endothelial cell loss was reported. Further investigations by Kues *et al.*[48] indicated that 2.45-GHz pulsed microwaves, if administered after pretreatment with ophthalmic drugs, could produce ocular effects at a significantly lower *SAR* level. However, Kamimura *et al.*[49] reported that ocular exposure of anesthetized primates to 300 W/m^2 continuous-wave field at 2.45 GHz did not result in ocular abnormalities. Since these studies have not been independently replicated and no further research has been conducted in this area, it is considered scientifically unjustified to continue imposing *SAR* limits for the eye based on such

limited information. However, the authors of this document consider these limited findings sufficient to encourage the reduction of ocular exposures whenever possible. This recommendation shall remain valid until sufficient scientific information is available to accurately assess the health effects of RF exposure on the eye.

7. Field Strength Limits

In Tables 1 and 4, the coefficients used in determining the maximum field strength limits between 300 MHz and 1500 MHz have been slightly adjusted in order to satisfy equation III.5.

8. 3-kHz Low Frequency Boundary

The low frequency portion of this Code has been extended to 3 kHz to cover the entire very-low-frequency (VLF) band. At the time of writing, information on the health effects of electromagnetic fields at frequencies below 3 kHz was insufficient to establish exposure limits.

The rationale for any parts or sections of this Code that remain unchanged from the 1991 version is given elsewhere[1].

Appendix VIII
Definitions

Antenna – A device for radiating or receiving radiofrequency (RF) energy.

Antenna Gain – The increase in power transmitted or received by a directional antenna when compared to a standard antenna, which is usually an ideal isotropic antenna. Gain is a ratio of powers and may be expressed in decibels (dB) or as a pure number.

Auditory Effect – Human perception to individual pulses from RF fields in the form of audible clicks, chirping or buzzing sounds, depending on the pulsing regime and intensity of the field[3].

Cavity – The interior of a metal structure that encloses or confines a radiofrequency field.

Computerized Tomography – A diagnostic-imaging procedure in which anatomical information is digitally reconstructed from x-radiation transmission data obtained by scanning an anatomical area from many directions.

Competent Person – An individual who because of his/her knowledge, training and experience is qualified to carry out RF and microwave surveys and/or repair and maintain RF and microwave devices.

Contact Current – Current flowing between an energized, isolated, conductive (metal) object and ground through an electrical circuit representing the equivalent impedance of the human body.

Continuous Wave (CW) – Successive oscillations which are identical under steady-state conditions (an unmodulated electromagnetic wave).

Controlled Environment (area) – A location where there is exposure that may be incurred by persons who are aware of the potential for exposure as a con-comitant of employment, by other cognizant persons, or as the incidental results of transient passage through areas where analysis shows the exposure level may be

above those shown in Table 5 but do not exceed those in Table 1 and where the induced currents may exceed the values in Table 7 but do not exceed the values in Table 3.

Denied Access Area – An area not to be accessed by any person.

Duty Factor – The ratio of the pulse duration to the pulse period (i.e., time lapse between the start of consecutive pulses) of a periodic pulse train. Mathematically, the duty factor is the product of the pulse duration multiplied by the pulse repetition frequency.

Effective Isotropically Radiated Power (EIRP) – This term applies to directional antennas. The power that would have to be transmitted by an isotropic antenna to produce the same power density at any given point along the directional antenna's axis. Mathematically, EIRP is the gain of a transmitting antenna multiplied by the net power delivered to the antenna from the connected transmitter.

Electric Field – The region surrounding an electric charge, in which the magnitude and direction of the force on a hypothetical test charge is defined at any point.

Electrical Ground – The earth or a metal surface placed in contact with the earth, or connected to the earth with a conductor.

Electromagnetic Interference – Degradation of the performance of a device, a piece of equipment, or a system caused by an electromagnetic disturbance.

Electromagnetic Radiation – The propagation of time-varying electric and magnetic fields through space at the velocity of light.

Extremities – Limbs of the body, including upper arms and thighs.

Far-Field Zone – The space beyond an imaginary boundary around an antenna. The boundary marks the beginning where the angular field distribution is essentially independent of the distance from the antenna. In this zone, the field has a predominantly plane-wave character.

Field Strength – The magnitude of the electric or magnetic field, normally a root-mean-square value.

Frequency – The number of sinusoidal cycles made by electromagnetic waves in one second; usually expressed in units of hertz (Hz).

General Public – All persons not employed as RF and microwave exposed workers or those not working in controlled environments (areas). They include pregnant women, the aged, children, the chronically ill and disabled.

Induced Current – Current induced in a human body exposed to RF fields.

Interlock – A component or set of components that, when actuated, prevents the generation of power from an RF and microwave source, such as the magnetron in a microwave oven or an RF transmitter.

Leakage Radiation – Any unintended or accidental radiation emitted by a device outside its external surface.

Magnetic Field – A region of space surrounding a moving charge (e.g., in a conductor) being defined at any point by the force that would be experienced by another hypothetical moving charge. A magnetic field exerts a force on charged particles only if they are in motion, and charged particles produce magnetic fields only when they are in motion.

Magnetic Resonance Imaging – A technique for obtaining images of the internal anatomy based on the use of nuclear magnetic resonance (NMR) signals. The NMR method is based on partially aligning the nuclear spins by use of strong, static magnetic field, stimulating these spins with an RF field oscillating at the precession frequency of nuclear magnetic moments, and detecting the signal that is induced at this frequency.

Microwave – A radio wave which has a frequency of between 1 GHz and 300 GHz or a wavelength of between 30 cm and 1 mm.

Modulated Wave (radiation) – An electromagnetic wave which is modified by pulsing, or by varying its amplitude, frequency or phase. Such a wave is called, respectively, pulse-, amplitude-, frequency-, or phase-modulated.

Near-Field Zone – A volume of space generally close to an antenna or other radiating structure, in which the electric and magnetic fields do not have a substantially plane-wave character, but vary considerably from point to point. The near-field zone is further subdivided into the *reactive near-field region* and the *radiating near-field region.*

Occupationally Exposed Persons – Workers who are exposed to RF fields and microwaves in the course of their regular employment.

Organ-averaged *SAR* for the eye – *Specific Absorption Rate* (*SAR*) averaged throughout the whole eye ball.

Owner – A person, organization or institution having title to, or, an administrative control over a given RF emitting device.

Plane Wave Character – Nature of the angular field distribution in the far-field region of a source antenna, in which the electric field vector is perpendicular to the magnetic field vector, and they are both perpendicular to the direction of propagation.

Power Density – The rate of flow of electromagnetic energy per unit surface area usually expressed in W/m^2 or mW/cm^2 or $\mu W/cm^2$.

Portable Transmitter – A mobile device that radiates electromagnetic waves for the purpose of communication, examples of which are cellular telephones and walkie-talkies.

Radiofrequency – The frequency in the portion of the electromagnetic spectrum that is between 3 kHz and 300 GHz.

Radiation (electromagnetic) – The emission or transfer of energy through space in the form of electromagnetic waves.

Radiating Near-Field Region – The region between the reactive near-field and the far-field wherein the radiation field dominates the reactive field, but lacks substantial plane-wave character.

Reactive Near-Field Region – The region that is closest to an antenna or other radiating structure and contains most or nearly all of the stored energy.

Responsible User – A person who is authorized to operate an RF device properly and safely with respect to RF radiation.

Restricted Occupancy – An area where access is restricted to RF and microwave exposed workers for a prescribed time duration.

RF Device – A device which generates and/or utilizes RF energy.

RF Survey – An evaluation of the actual or potential RF field levels in any area, specifically in the vicinity of RF devices, and an evaluation of induced and contact currents.

RF Worker – An employee or a person (including a pregnant woman) who because of his/her knowledge, training and experience with RF devices is qualified to work with these devices properly and safely with respect to RF exposure.

RF and Microwave Exposed Workers – Persons who are exposed to RF fields and microwaves in the course of their daily work (e.g., those who may work near an RF device but may not be RF workers).

rms – Root mean square. Mathematically, it is the square root of the average of the square of the instantaneous field or current taken throughout one period.

Safety – The absence of detrimental health effects from RF exposures.

Safety Officer – A person who is appointed to ensure safety of working within an RF environment.

Specific Absorption Rate (*SAR*) – The rate of radiofrequency energy absorbed in tissue per unit mass. Quantitatively, it is the time derivative (rate) of the incremental energy (dW) absorbed by an incremental mass (dm) contained in a volume element (dV) of given mass density (ρ).

$$SAR = \frac{d}{dt}\left[\frac{dW}{dm}\right] = \frac{d}{dt}\left[\frac{dW}{\rho dV}\right]$$

SAR is expressed in units of watts per kilogram (W/kg). Also

$$SAR = \sigma E^2/\rho$$

where σ is the tissue conductivity (S/m), E is the rms electric field strength induced in the tissue (V/m) and ρ is the mass density (kg/m^3).

SI – An acronym of Système International d'Unités (International System of Units).

Transceiver – A combination of transmitter and receiver in a single housing, with some components being used by both parts.

Uncontrolled Area – Any area that is neither a Restricted Occupancy Area, nor a Denied Access Area.

Visible Warning Indicator – A display such as flashing lights and signs to warn people of the fact that the power of an RF device is on.

Wavelength – The distance travelled by a propagating wave in one cycle of oscillation.

X-Radiation – Electromagnetic radiation having a wavelength in the range of 0.0001 to less than 1 nm.

References

1. M.A. Stuchly. Proposed Revision of the Canadian Recommendations on Radiofrequency – Exposure Protection, Health Physics, Vol. 53, pp. 649-665, 1987.
2. M.A. Stuchly. Review of Current Literature on Biological Effects of Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 300 GHz. A contract report submitted to Health Canada, October 1994 (Available at cost from the Radiation Protection Bureau, Health Canada, Ottawa, Ontario K1A 1C1).
3. World Health Organization. Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic Fields (300 Hz – 300 GHz), 1993 (Available from: WHO, Geneva, or Canadian Public Health Association, Ottawa, Ontario).
4. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Guidelines: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics, Vol. 74, pp. 494-522, 1998.
5. IEEE Std C95.1-1991 – 1999 Edition. IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz (available from the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Service Center, 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854-1331, U.S.A.).
6. M.H. Repacholi. Low-Level Exposure to Radiofrequency Fields: Health Effects and Research Needs. Bioelectromagnetics, Vol. 19, pp. 1-19, 1998.
7. J.-Y. Chen and O.P. Gandhi. Thermal Implications of High *SARs* in the Body Extremities at the ANSI-Recommended MF-VHF Safety Levels, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. 35, pp. 435-441, 1988.
8. S. Tofani, G. d'Amore, G. Fiandino, A. Benedetto and O.P. Gandhi. Induced Foot-Current in Humans Exposed to VHF Radio-Frequency EM Fields, IEEE Trans. Electromag. Compat., Vol. EMC-37, pp. 96-99, 1995.
9. O.P. Gandhi. ANSI Radiofrequency Safety Guide: Its Rationale, Some Problems, and Suggested Improvements. In Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy. Ed. O.P. Gandhi, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, pp. 28-46, 1990.

10. International Labour Office. Occupational and Health Safety Series No. 71: Safety in the Use of Radiofrequency Dielectric Heaters and Sealers – A Practical Guide, 1998 (Available from: the Publications Bureau, ILO, CH-1211 Geneva 22, Switzerland).

11. H.I. Bassen.. RF Interference (RFI) of Medical Devices by Mobile Communications Transmitters. In Mobile Communications Safety. Eds. N. Kuster, Q. Balzano and J.C. Lin, Chapman & Hall, London, pp. 65-94, 1997.

12. Committee on Man and Radiation (COMAR) Reports. Radiofrequency Interference with Medical Devices: A Technical Information Statement. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol. 17, pp. 111-114, 1998.

13. Microwave Ovens, Part III, Schedule II to the Radiation Emitting Devices Regulations, Chapter 1370, Consolidated Regulations of Canada, 1978.

14. Institute of Makers of Explosive. Safety Library Publication No. 20: Safety Guide for the Prevention of Radiofrequency Radiation Hazards in the Use of Commercial Electric Detonators (Blasting Caps), December 1988 (Available from the Institute of Makers of Explosive, 1120 Nineteenth Street, N.W., Suite 310, Washington, DC 20036-3605).

15. ANSI C95.3-1991. American National Standard. Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave.

16. Industry Canada. Guidelines for the Measurement of Radiofrequency Fields at Frequencies from 10 kHz to 300 GHz, January 1994 (Available at cost from Industry Canada, Ottawa, Ontario K1A 0C8).

17. Health Aspects of Radio-Frequency and Microwave Radiation Exposure, Part I, Environmental Health Criteria Document, Health Protection Branch, National Health and Welfare, Report No. 77-EHD-13, 1977. Available through interlibrary loan from the Radiation Protection Bureau Library, 775 Brookfield Road, Ottawa, Ontario K1A 1C1, Tel. (613) 941-8911.

18. Australian Standard 2772.2 – 1988. Radiofrequency Radiation, Part 2. Principles and Methods of Measurements – 300 kHz to 100 GHz, Standards Association of Australia. Standards House, 80 Arthur Street, North Sydney, N.S.W.

19. W.L. Stutzman and G.A. Thiele. Antenna Theory and Design, 1998 (Available from: John Wiley and Sons, New York).

20. D.H. Shinn. Avoidance of Radiation Hazards from Microwave Antennas, The Marconi Review, Vol. XXXIX, No. 201, pp. 61-80, 1976.

21. National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP Report No. 19: A Practical Guide to the Determination of Human Exposure to Radiofrequency Fields, 1993 (Available from: NCRP Publications, Bethesda, Maryland 20814, Tel. 1-800-229-2652).

22. J.C. Lin and O.P. Gandhi. Computational Methods for Predicting Field Intensity. In CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. Eds. C. Polk and E. Postow, Second Edition, CRC Press, Boca Raton, pp. 337-402, 1996.

23. P.J. Dimbylow and S.M. Mann. *SAR* Calculations in an Anatomically Realistic Model of the Head for Mobile Communication Transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz, Phys. Med. Biol., Vol. 39, pp. 1537-1553, 1994.

24. O.P. Gandhi. Some Numerical Methods for Dosimetry: Extremely Low Frequencies to Microwave Frequencies, Radio Science, Vol. 30, pp. 161-177, 1995.

25. M. A. Jensen and Y. Rahmat-Samil. EM Interaction of Handset Antennas and a Human in Personal Communications, Proc. IEEE, Vol. 83, No. 1, pp. 7-17, 1995.

26. M.A. Stuchly and S.S. Stuchly. Measurements of Electromagnetic Fields in Biomedical Applications, CRC Crit. Rev. Biomed. Eng., Vol. 14, pp. 241-288, 1986.

27. M.A. Stuchly and S.S. Stuchly. Experimental Radio and Microwave Dosimetry. In CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. Eds. C. Polk and E. Postow, Second Edition, CRC Press, Boca Raton, pp. 295-336, 1996.

28. Q. Balzano, O. Garay and T. J. Manning, Jr. Electromagnetic Energy Exposure of Simulated Users of Portable Cellular Telephones, IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. VT-44, pp. 390-403, 1995.

29. T. Schmid, O. Egger and N. Kuster. Automated E-Field Scanning System for Dosimetric Assessments, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 44, No. 1, pp. 105-113, 1996.

30. S.S. Stuchly, A. Kraszewski, M.A. Stuchly, G. Hartsgrove and D. Adamski. Energy Deposition in a Model of Man in the Near-Field, Bioelectromagnetics, Vol. 6, pp. 115-129, 1985.

31. M.A. Stuchly, A. Krazewski, and S.S. Stuchly. Exposure of Human Models in the Near- and Far-Field: A Comparison, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. BME-32, pp. 609-616, 1985.

32. S.S. Stuchly, M.A. Stuchly, A. Kraszewski and G. Hartsgrove. Energy Deposition in a Model of Man: Frequency Effects, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol, BME-33, pp. 702-711, 1986.

33. M.A. Stuchly, A. Kraszewski, S.S. Stuchly, G. Hartsgrove and R.J. Spiegel. RF Energy Deposition in a Heterogeneous Model of Man: Near-Field Exposures, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. BME-34, 1987.

34. Q. Balzano, J.A. Bergeron, J. Cohen, J.M. Osepchuck, R.C. Petersen and L.M. Roszyk. Measurement of Equivalent Power Density and RF Energy Deposition in the Immediate Vicinity of a 24-GHz Traffic Radar Antenna, IEEE Trans. Electromag. Compat., Vol. EMC-37, pp. 183-191, 1995.

35. I. Chatterjee, D. Wu, and O.P. Gandhi. Human Body Impedance and Threshold Currents for Perception and Pain for Contact Hazard Analysis in the VLF-MF Band, IEEE Trans. Biomed., Eng., Vol. BME-33, pp. 486-494, 1986.

36. O.P. Gandhi. Basis for RFR – Safety Standards in the 10 kHz – 50 MHz Region. Report No. USAFSAM–TR–87, 1987 (Available from: Aerospace Medical Division, Brooks Air Force Base, TX 78235-5301).

37. O.P. Gandhi, I. Chatterjee, D. Wu, J.A. D'Andrea and K. Sakamoto. Very Low Frequency (VLF) Hazard Study, Report No. USAFSAM–TR–84, 1984 (Available from: Aerospace Medical Division, Brooks Air Force Base, TX 78235-5301).

38. M.A. Stuchly, J. Kozlowski, S, Symons and D.W. Lecuyer. Measurements of Contact Currents in Radiofrequency Fields, Health Physics, Vol. 60, pp. 547-557, 1991.

39. G.F. Knoll. Radiation Detection and Instrumentation, 1979 (Available from: John Wiley and Sons, New York).

40. H.E. Johns and J.R. Cunningham. Physics of Radiology, 1974 (Available from: Charles C. Thomas, Springfield, Illinois).

41. United Nations. Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, UNSCEAR 1982 Report (Available from: United Nations, New York).

42. O.P. Gandhi, G. Lazzi and C.M. Furse. Electromagnetic Absorption in the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz, IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. 44, pp. 1884-1897, 1996.

43. J.H. Bernhardt. Non-ionizing Radiation Safety: Radiofrequency Radiation, Electric and Magnetic Fields, Phys. Med. Biol., Vol. 37, pp. 807-844, 1992.

44. ANSI Z136.1-1993. American National Standard. American National Standard for Safe Use of Lasers, Section 8.4, p. 34.

45. European Prestandard ENV 50166-2. Human Exposure to Electromagnetic Fields: High Frequencies (10 kHz to 300 GHz), CENELEC, January 1995 (Available from CENELEC Central Secretariat: rue de Stassart 35 B-1050, Brussels, Belgium).

46. C.F. Dalziel and T.H. Mansfield. Effects of Frequency on Perception Currents. Trans. AIEE, Vol. 69, Part II, pp. 1162-1168, 1950.

47. H.A. Kues, L.W. Hirst, G. A. Lutty, S.A. D'Anna and G.R. Dunkelberger. Effects of 2.45 GHz Microwaves on Primate Corneal Endothelium, Bioelectromagnetics, Vol. 6, pp. 177-188, 1985.

48. H.A. Kues, J.C. Monahan, S.A. D'Anna, D. S. McLeod, G. A. Lutty and S. Koslov. Increased Sensitivity of the Non-Human Primate Eye to Microwave Radiation Following Ophthalmic Drug Pretreatment, Bioelectromagnetics, Vol. 13, pp. 379-393, 1992.

49. Y. Kamimura, K. Sato, T. Saiga, and Y. Amemiya. Effects of 2.45 GHz Microwave Irradiation on Monkey Eyes, IEICE Trans. Communications, Vol. E-77B, pp. 762-765, 1994.

Santé Canada Health Canada

Limites d'exposition humaine aux champs de radiofréquences électromagnétiques dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz

Code de sécurité 6

Canada

Notre mission est d'aider les Canadiens et les Canadiennes à maintenir et à améliorer leur état de santé.

Santé Canada

Site du Web : **www.hc-sc.gc.ca/rpb**

© Ministre, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 1999
Cat. H46-2/99-237F
ISBN 0-662-83894-7

Préambule

Le présent document fait partie d'une série de codes de sécurité préparés par le Bureau de la radioprotection de Santé Canada. Ces codes de sécurité spécifient les règles à observer lors de l'utilisation des dispositifs émettant des rayonnements. Le présent Code remplace le Code de sécurité 6, DHM-TR-160, publié en 1991 et repris en 1994 comme 93-DHM-160. La raison d'être des changements au Code de sécurité 6 précédent est expliquée à l'annexe VII.

Le but du Code est d'établir les règles de sécurité régissant l'installation et l'utilisation des dispositifs à radiofréquences (RF) et à micro-ondes qui fonctionnent sur une gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz. Les critères d'exposition indiqués dans ce Code ne s'appliquent pas à l'exposition provoquée délibérément pour le traitement des malades par des médecins, ou sous la direction de médecins.

Les mesures de sécurité et les directives d'installation décrites dans le présent Code s'adressent aux employés des ministères et des organismes fédéraux. Ces lignes directrices peuvent être adoptées par les provinces, l'industrie ou autres groupes intéressés. Le ministère de la Défense nationale devra se conformer aux normes indiquées dans le présent Code, sauf où une telle conformité à la réglementation compromettrait les activités de formation et les opérations des Forces armées canadiennes, tel que jugé par le ministère.

Le but de ce Code est d'établir des lignes directrices afin de limiter l'exposition aux radiofréquences et aux micro-ondes. De même, ce document ne décrit aucune technique d'évaluation de la performance du produit. Des méthodes et principes de base sur l'évaluation des niveaux d'exposition sont tout de même inclus afin d'assister aux lecteurs qui ne connaissent pas bien les méthodes de mesure et d'évaluation des radiofréquences. Le Bureau conseille aux organisations qui adoptent ce Code de développer leurs propres procédures de conformité à la réglementation et d'évaluation d'exposition.

Ce Code ne peut tenir compte de toutes les situations possibles dans un domaine où la technologie progresse rapidement et où des difficultés inattendues et uniques peuvent y survenir. Le respect aveugle des règlements ne peut remplacer l'exercice d'un jugement

judicieux. Pour cette raison, les prescriptions et les recommandations de ce Code peuvent nécessiter des modifications dans certaines circonstances. Toutefois, avant d'apporter ces modifications, il faut obtenir l'avis de spécialistes reconnus en matière de protection contre les rayonnements RF. Le présent Code sera révisé périodiquement, et toutes les exigences particulières sont sujettes à révision en tout temps s'il convient de tenir compte de situations imprévues. Pour obtenir de plus amples renseignements sur n'importe quel point soulevé dans le présent Code, il suffit de s'adresser à la Section des rayonnements non ionisants du Bureau de la radioprotection (BRP) à Ottawa.

L'ébauche de la révision de ce Code a été préparé par le docteur A. Thansandote, assisté de M. D.W. Lecuyer, M. G.B. Gajda et le docteur J. P. McNamee, tous membres de la Division des dangers des rayonnements de produits cliniques et à la consommation, BRP. L'ébauche est basée sur des versions précédentes du Code de sécurité ainsi que l'information scientifique la plus récente. L'ébauche a été révisée par P.J. Waight, M.D., S. Vlahovich, M.D., M. P. Dvorak, M. W.J. Welsh, M. H.P. Maharaj et le docteur J.R.N. McLean du BRP, et par le docteur O.P. Gandhi de l'Université de l'Utah et le docteur M.A. Stuchly de l'Université de Victoria. Le docteur K.S. Tan du Bureau des instruments médicaux a fournit des commentaires pour la section 3.4 (Dispositifs médicaux et interférences électromagnétiques).

Nous remercions les organismes suivants de leur collaboration:

A. Ministères et organismes fédéraux

1. Santé Canada, Agence d'hygiène et de sécurité au travail
2. Transports Canada
3. Industrie Canada, Direction générale de la technique du spectre
4. Garde côtière canadienne
5. Défense nationale, Centre d'essais techniques de la qualité
6. Centre de recherche sur les communications, Recherche en communication et en diffusion

B. Provinces

1. Ministère de la santé de la Colombie Britannique, Direction de la radioprotection
2. La Fondation manitobaine de traitement du cancer et de recherche en cancérologie, département de physiques médicales
3. Ministère du travail de l'Ontario, Direction de la santé et de la sécurité, Service de radioprotection
4. Alberta Labour (représenté par d.r. Novitsky Enterprises)

C. Industrie

1. Motorola, Florida Corporate Electromagnetics Research Laboratory
2. NAV Canada, Ingénierie des inspections en vol et des radiocommunications
3. Conseil consultatif canadien de la radio

D. Autres groupes intéressés

1. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail
2. Université McMaster, Hôpital St. Joseph

Table des matières

Préambule 3

1. Introduction 9
1.1 Principaux objectifs du Code 10

2. Limites maximales d'exposition 11
2.1 Travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes (incluant les personnes exposées dans une ambiance professionnelle) 12
2.1.1 Limites de l'intensité du champ 12
2.1.2 Limitations fondamentales – Limites du débit d'absorption spécifique (*DAS*) 15
2.1.3 Limites du courant de contact et du courant induit 16
2.1.4 Limites d'intensité maximale pour un champ pulsé 19
2.2 Exposition de personnes non classifiées comme travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes (incluant le grand public) 19
2.2.1 Limites de l'intensité du champ 19
2.2.2 Limitations fondamentales – Limites du débit d'absorption spécifique (*DAS*) 21
2.2.3 Limites du courant de contact et du courant induit 21
2.2.4 Limites d'intensité maximale pour un champ pulsé 24
2.3 Détermination de la moyenne temporelle 24
2.3.1 Fréquences de 0,003 à 15 000 MHz 24
2.3.2 Fréquences de 15 000 à 300 000 MHz 25
2.4 Mesures et évaluation 26
2.4.1 Mesures sur le terrain – détermination de la moyenne spatiale 26
2.4.2 Détermination de la valeur de *DAS* 26
2.4.3 Mesures du courant induit et du courant de contact 27

3. Emplacement et installation 28
3.1 Principes fondamentaux 28
3.2 Recommandations générales 28
3.3 Dispositifs de chauffage à RF et à micro-ondes 29
3.4 Dispositifs médicaux et interférences électromagnétiques 30
3.5 Fours à micro-ondes 30
3.6 Radars et systèmes de communication 31
3.7 Dispositifs électro explosifs 31

4. Consignes de sécurité pour les opérateurs et le personnel d'entretien des dispositifs RF (travailleurs sous RF) 32

5. Protection du grand public 33

6. Inspection des rayonnements RF 34
6.1 Méthode d'inspection des rayonnements RF 34
6.2 Relevés et recommandations 35

7. Symboles de mise en garde 36
7.1 Conception des symboles de mise en garde recommandés 36
7.2 Démarcation des zones 36
7.3 Symboles pour l'étiquetage des dispositifs 37

Annexes
I Limites d'exposition maximales aux champs RF – représentation graphique 39
II Durée maximale d'exposition pour des périodes de temps inférieures à 0,1 h et des fréquences inférieures à 15 000 MHz 41
III Estimation théorique des champs d'exposition 42
A. Zones de champ proche et de champ éloigné 42
B. Puissance moyenne des ondes pulsées 49
C. Antennes à balayage 50
IV Limites d'exposition à des champs RF pulsés 54
V Mesures et évaluation 56
A. Champs RF 56
A.1 Caractéristiques fondamentales des appareils d'inspection 56
A.2 Détermination de la moyenne spatiale 58
B. Débit d'absorption spécifique (*DAS*) 60
C. Courants de contact et courants induits 62
C.1 Courant de contact 62
C.2 Courant induit 63
VI. Rayonnement X 65
VII. Raison d'être des changements à la version 1991 du Code de sécurité 6 66
VIII. Définitions 70

Bibliographie 76

1. Introduction

Les nouveaux progrès de l'industrie électronique ont entraîné une grande utilisation des dispositifs à radiofréquences (RF) dans divers secteurs de l'activité humaine tels que les communications, la radiodiffusion et la télédiffusion, le radar, le traitement industriel, les techniques médicales et les biens de consommation. Les champs électromagnétiques émis par les dispositifs de communication, de radiodiffusion et de télédiffusion ainsi que les radars s'étendent sur de vastes régions de l'environnement, tandis que les dispositifs industriels, les appareils médicaux et les produits de consommation exercent généralement un effet sur de petites régions. La réflexion et la diffusion simultanée d'ondes électromagnétiques et d'émissions RF par plus d'une source résultent fréquemment en une condition complexe connue sous le nom de propagation par trajets multiples, et champs spatiallement non uniformes.

Les études portant sur les dangers possibles pour la santé humaine suite à l'exposition aux champs électromagnétiques RF montrent qu'il est nécessaire d'exercer une surveillance. L'exposition à l'énergie RF à un niveau plus élevé que les normes indiquées dans ce Code peut entraîner des effets néfastes pour la santé. Le type et l'importance des effets dépendent non seulement de l'intensité du champ et de la durée de l'exposition, mais aussi de plusieurs autres facteurs tels que la fréquence, le type de modulation, la polarisation et la distance de la source.

Les limites d'exposition ont été établies à partir d'une révision d'expériences menées au cours des 30 dernières années sur des organismes biologiques tels les humains, des animaux et des systèmes cellulaires[1,2,3]. Les limites recommandées par ce Code ont été établies à un niveau qui est inférieur, par un facteur de 10, au seuil où il y a une possibilité d'effets néfastes pour la santé, tel que jugé à l'unanimité par la communauté scientifique[4,5]. Les effets biologiques des champs RF à des niveaux trop bas pour produire un échauffement marqué ont aussi été révisés[3,6]. Ces effets ne sont pas bien établis et la compréhension de leurs implications envers la santé humaine n'est pas suffisante. Ces effets ne peuvent donc pas servir comme base afin de créer des recommandations envers la restriction d'exposition humaine à des champs RF de faible intensité.

À moins d'indication contraire, toutes les unités sont exprimées dans le système international (SI). Un glossaire des définitions se retrouve à l'annexe VIII.

1.1 Principaux objectifs du Code

Voici les principaux objectifs du présent Code :

(a) spécifier les niveaux et les durées maximaux d'exposition aux radiofréquences de la gamme de 3 kHz à 300 GHz afin d'éviter des effets sur la santé humaine;

(b) spécifier le niveau maximal admissible des courants RF induits et de contact à travers le corps, afin d'éviter une perception physique des champs RF au grand public ainsi que des brûlures et un choc RF aux travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes;

(c) émettre des recommandations pour que l'exposition du grand public et du personnel travaillant à proximité de dispositifs RF et micro-ondes soit inférieure aux niveaux spécifiés dans le présent Code; et

(d) recommander des conditions de travail qui mèneront à des normes de sécurité plus élevées pour tout le personnel consacré à la fabrication, l'exploitation et l'entretien des dispositifs RF.

2. Limites maximales d'exposition

Dans les sections qui suivent, les niveaux maximaux d'exposition de travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes (incluant les personnes exposées dans une ambiance professionnelle) ainsi que d'autres individus (incluant le grand public) sont spécifiés. Les niveaux spécifiés ne doivent pas être dépassés.

Les limites de base à ne pas dépasser sont exprimées sous forme de courants dans le corps, soit par induction ou par contact avec des objets métalliques alimentés en courant, ou sous forme du débit auquel l'énergie électromagnétique RF est absorbée dans le corps. Ce dernier est exprimé plus précisément comme *débit d'absorption spécifique* (*DAS*), c'est-à-dire le débit d'absorption d'énergie RF par unité de masse dans le corps. Les unités de mesure du *DAS* sont : joules par seconde par kilogramme ou watts par kilogramme (W/kg). En pratique, le mesurage directe du *DAS* est possible uniquement sous des conditions de laboratoire. En plus des limites de *DAS*, le niveau recommandé d'exposition maximale à des champs magnétiques et électriques non perturbés, ainsi que la densité de puissance sont mentionnés. Ces intensités maximales de champ sont à un niveau qui générerait un *DAS* ou un courant induit dans le corps qui ne dépasserait pas la limite de base.

En ce qui concerne les limites d'exposition de travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes, un facteur de sécurité approximatif de 10 a été incorporé en se basant sur le seuil de l'avis scientifique unanime en ce qui concerne leurs effets nocifs sur la santé. Pour les autres personnes, incluant le grand public, un facteur de sécurité additionnel (de 2 à 5) à été ajouté afin d'établir des limites plus basses. Ces facteurs de sécurité ont été incorporés afin de pourvoir à toutes les conditions possibles sous lesquelles il pourrait y avoir exposition. Le raisonnement pour avoir des limites plus basses pour le grand public est le suivant :

1. Le public a un potentiel d'exposition de 24 heures par jour, sept jours par semaine tandis que les travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes sont exposés 8 heures par jour, cinq fois par semaine.

2. Certains membres du grand public peuvent être plus susceptible au dommage causé par une exposition à des RF et à des micro-ondes.

Afin de déterminer si les durées et les niveaux maximaux ont été dépassés il convient de considérer avec soin les facteurs tels que :

(a) l'occupation des zones exposées;

(b) la durée réelle d'exposition et la moyenne temporelle (incluant les durées de démarrage et d'arrêt des générateurs RF, la direction du faisceau, les facteurs d'utilisation, les durées de balayage, etc);

(c) les caractéristiques spatiales de l'exposition, c'est-à-dire le corps entier ou les parties de corps;

(d) l'uniformité du champ d'exposition, c.-à-d. la moyenne spatiale.

Dans certains cas, et couvrant une étendue spécifique de fréquence, il est permis d'avoir des niveaux d'exposition plus élevés pour de courtes durées. Dans ce cas, la moyenne des densités de puissance et des intensités de champ est prise sur une période d'un dixième d'heure (0,1 h ou 6 min). Des graphiques sont présentés à l'annexe I afin de facilement identifier les niveaux d'exposition maximales à plusieurs fréquences.

2.1 Travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes (Incluant les personnes exposées dans une ambiance professionnelle)

En zone de champ éloigné, l'intensité du champ électrique, l'intensité du champ magnétique et la densité de puissance sont tous intimement liés par de simples expressions mathématiques (annexe III). Donc, une des trois quantités est définie par les deux autres. Dans la zone de champ rapproché, les intensités des champs électriques et magnétiques doivent être mesurées puisqu'il n'y existe aucune relation simple entre ces deux quantités. L'instrumentation requise pour mesurer les champs magnétiques de certaines fréquences n'est pas nécessairement disponible commercialement, et dans ce cas, l'intensité du champ électrique devra être mesuré. Le mesurage de l'intensité de champs est décrit dans l'annexe V.

2.1.1 Limites de l'intensité du champ

(a) Un travailleur exposé aux RF et aux micro-ondes ne doit pas être exposé à un rayonnement électromagnétique dans la bande de fréquences indiquée à la colonne 1 du tableau 1 si l'intensité du champ est supérieure à la valeur indiquée à la colonne 2 ou 3 du tableau 1,

lorsque les moyennes spatiale et temporelle sont calculées, ou si la densité de puissance dépasse la valeur indiquée dans la colonne 4 du tableau 1, lorsque les moyennes spatiale et temporelle sont calculées. La moyenne spatiale est réalisée sur une superficie équivalente à la coupe transversale verticale du corps humain (superficie projetée). La moyenne temporelle d'une période de 0,1 h (6 min) doit être utilisée pour des fréquences allant jusqu'à 15 000 MHz. Au-dessus de ces fréquences, la période de temps pendant laquelle la moyenne temporelle est calculée est différente et est décrite à la section 2.3.2.

(b) Lorsque le rayonnement électromagnétique est composé de plusieurs fréquences dans la même ou dans de différentes bandes de fréquences indiquées dans la colonne 1 du tableau 1, alors le rapport des valeurs mesurées à chaque fréquence à la limite de cette fréquence indiquée dans la colonne 2, 3 ou 4 doit être déterminé et la valeur moyenne temporelle et spatiale de la somme de tous les rapports obtenus pour toutes les fréquences ne doit pas dépasser l'unité. Pour les mesures d'intensité de champ, les valeurs mesurées et les limites doivent être élevées au carré avant de déterminer les rapports. La limite, appliquée à plusieurs fréquences peut être exprimée comme suit :

$$\sum_{f\,=\,3\,kHz}^{300\,GHz} R_f \leq 1 ,$$

où f est la fréquence pour laquelle les mesures ont été prises et ou l'intensité du champ électrique ou magnétique est mesuré,

$$R_f = \left(\frac{\textit{Valeur mesurée de l'intensité du champ à } f}{\textit{Limite d'exposition de l'intensité du champ à } f} \right)^2 ,$$

ou bien, lorsque la densité de puissance est mesurée,

$$R_f = \frac{\textit{Valeur mesurée de la densité de puissance à } f}{\textit{Limite d'exposition de la densité de puissance } f} .$$

Exemple 2.1 :

Une fois les moyennes temporelle et spatiale calculées, les champs électriques auxquels un travailleur sous RF est exposé sont déterminés comme étant 30 V/m, 40 V/m, 50 V/m et 60 V/m à 20 MHz, 90 MHz, 150 MHz et 1300 MHz, respectivement. Les valeurs relatives basées sur les limites d'exposition dans les bandes de fréquences d'intérêts sont comme suit :

$R_1 = (30/60)^2 = 0{,}25$ pour 20 MHz (dans la bande de fréquences de 10–30 MHz)

$R_2 = (40/60)^2 = 0{,}44$ pour 90 MHz (dans la bande de fréquences de 30–300 MHz)

$R_3 = (50/60)^2 = 0{,}69$ pour 150 MHz (dans la bande de fréquences de 30–300 MHz)

$R_4 = (60/127{,}6)^2 = 0{,}22$ pour 1300 MHz (dans la bande de fréquences de 300–1 500 MHz)

Où $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 1{,}6$, ce qui dépasse l'unité, donc l'intensité du champ combinée n'est pas conforme à la limite du Code de sécurité. Il est à noter que 127,6 V/m a été obtenu en substituant $f =$ 1300 dans le terme de limite d'exposition $3{,}54f^{0{,}5}$ qui se retrouve dans la colonne 2 du tableau 1.

Tableau 1
Limites d'exposition de travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes

1 fréquence (MHz)	2 intensité du champ électrique; valeur efficace (V/m)	3 intensité du champ magnétique; valeur efficace (A/m)	4 densité de puissance (W/m^2)	5 durée (temps pendant lequel la moyenne est calculée) (min)
0,003–1	600	4,9		6
1–10	600/f	4,9/f		6
10 - 30	60	4,9/f		6
30–300	60	0,163	10*	6
300–1 500	$3{,}54f^{0{,}5}$	$0{,}0094f^{0{,}5}$	f/30	6
1 500–15 000	137	0,364	50	6
15 000–150 000	137	0,364	50	616 000 /$f^{1{,}2}$
150 000–300 000	$0{,}354f^{0{,}5}$	$9{,}4 \times 10^{-4}f^{0{,}5}$	$3{,}33 \times 10^{-4}f$	616 000 /$f^{1{,}2}$

* Limite de densité de puissance applicable à des fréquences plus grandes que 100 MHz.

Remarques : 1. Fréquence, f, est en MHz.
2. Une densité de puissance de 10 W/m^2 est équivalente à 1 mW/cm^2.
3. Une intensité de champ magnétique de 1 A/m correspond à 1,257 microtesla (μT) ou 12,57 milligauss (mG).

Exemple 2.2 :

Présumez qu'un travailleur est exposé à des champs de RF à trois fréquences différentes. Le mesurage d'exposition a été accompli, et les moyennes temporelle et spatiale calculées. Les conditions suivantes ont été dévoilées :

0,1 A/m à 27 MHz
70 V/m à 915 MHz
25 W/m^2 à 10 000 MHz

Les valeurs relatives basées sur les limites d'exposition dans les bandes de fréquences d'intérêt sont comme suit :

$R_1 = (0{,}1/0{,}18)^2$ pour 27 MHz (dans la bande de fréquences de 10–30 MHz)

$R_2 = (70/107{,}1)^2$ pour 915 MHz (dans la bande de fréquences de 300–1 500 MHz)

$R_3 = 25/50$ pour 10 000 MHz (dans la bande de fréquences de 1 500–15 000 MHz)

Où $R_1 + R_2 + R_3 = 0{,}99$, ce qui est inférieur à l'unité, donc l'intensité du champ combinée et la densité de puissance sont conforme à la limite du Code de sécurité.

2.1.2 Limitations fondamentales – Limites du débit d'absorption spécifique *(DAS)*

DAS, tel que défini à l'annexe VIII, est une mesure du débit auquel l'énergie électromagnétique est absorbée dans le corps. Les méthodes pour mesurer le *DAS* sont décrites à l'annexe V. Les limites de *DAS* ont la priorité sur l'intensité du champ et la densité de puissance à des fréquences entre 100 kHz et 10 GHz, et ne doivent pas être dépassées.

Le *DAS* devrait être déterminé dans les cas où l'exposition a lieu à 0,2 m ou moins de la source. Pour les conditions où la détermination du *DAS* n'est pas pratique, l'intensité du champ ou la densité de puissance devraient être mesurée. Lorsque c'est possible de déterminer le *DAS*, les valeurs dans le tableau 2 ne doivent pas être dépassées :

Quoique n'étant pas une exigence du Code, il est suggéré que, lorsque possible, le *DAS* moyen de l'organe de l'oeil ne dépasse pas 0,4 W/kg. Tel que mentionné à l'annexe VII, cette suggestion restera jusqu'à ce qu'il y ait suffisamment d'information scientifique de disponible afin de pouvoir évaluer avec précision les effets sur la santé de l'exposition de l'oeil à des RF.

Tableau 2
Limites de *DAS* pour les travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes

condition	limites de *DAS* (W/kg)
Le *DAS* moyen pour tout le corps.	0,4
Le *DAS* localisé pour la tête, le cou et le tronc – moyenne d'un gram (g) de n'importe quel tissus.*	8
Le *DAS* dans les membres – moyenne de 10 g de tissus.*	20

* Définis comme un volume de tissus sous formed'un cube.

2.1.3 Limites du courant de contact et du courant induit

Les limites pour le courant induit et le courant de contact ont comme objectif de réduire la possibilité de choc RF ou de brûlures de la manière suivante :

(a) Pour des travailleurs exposés à des RF et des micro-ondes se tenant debout (n'ayant aucun contact avec des objets métalliques), la valeur du courant induit par le rayonnement électromagnétique dans le corps humain décrites dans les bandes de fréquences indiquées à la colonne 1 du tableau 3 ne doit pas dépasser la valeur donnée à la colonne 2 du tableau 3. La méthode de mesurage du courant induit est décrite à l'annexe V.

(b) Aucun objet avec lequel un travailleur exposé aux RF et aux micro-ondes peut entrer en contact par prise en main ne doit être excité par un rayonnement électromagnétique dans les bandes de fréquences indiquées à la colonne 1 du tableau 3 de telle façon que le courant circulant dans un circuit électrique, ayant l'impédance équivalente à celle du corps humain, dépasse la valeur indiquée à la colonne 3 du tableau 3, tel que mesuré avec un instrument. Le mesurage du courant de contact est décrit à l'annexe V.

Remarque : Les courants maximaux permis peuvent être perçus (tel une sensation de picotement ou d'échauffement), mais ne sont pas de force suffisante à provoquer des douleurs ou des lésions tel que des brûlures.

(c) Lorsque le rayonnement électromagnétique est composé d'un nombre de fréquences dans la même ou dans différentes bandes de fréquences indiquées à la colonne 1 du tableau 3, le rapport entre le courant mesuré à chaque fréquence élevé au carré, et le carré de la limite à cette fréquence indiqué à la colonne 2 ou 3 (dépendant si le

courant est induit ou de contact) doit être déterminé et la somme de tous les rapports obtenus pour toutes les fréquences ne doit pas dépasser l'unité une fois la moyenne temporelle calculée. Cette limite, telle qu'appliquée à plusieurs fréquences, peut être exprimée comme suit

$$\sum_{f\,=\,3\,kHz}^{110\,MHz} r_f \le 1 ,$$

où f est la fréquence à laquelle les mesures ont été prises et

$$r_f = \left(\frac{\textit{moyenne temporelle mesurée de la valeur du courant à } f}{\textit{limite du courant à } f} \right)^2 .$$

Tableau 3
Limites du courant de contact et du courant induit pour les travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes

1 fréquence (MHz)	2 courant induit; valeur efficace (mA) à travers		3 courant de contact; valeur efficace (mA) prise en main et à travers chaque pied	4 durée (temps pendant lequel la moyenne est calculée) (min)
	les deux pieds	chaque pied		
0,003–0,1	2000 f	1000 f	1000 f	1 s
0,1–110	200	100	100	0,1 h (6 min)

Remarques : 1. Fréquence, f, est mesurée en MHz.
2. Les limites présentées ci-haut peuvent être insuffisantes pour éviter l'effet de surprise et les brûlures résultant de rejets transitoires d'étincelles lors d'un contact intermittent avec des objets alimentés en courant.

(d) Pour des fréquences entre 3 kHz et 100 kHz, la période pendant laquelle la moyenne temporelle du courant induit et du courant de contact est calculée est d'une seconde(s). Pour des fréquences entre 100 kHz et 110 MHz, la période pendant laquelle la moyenne est calculée devrait être appliquée au carré des courants induits et de contact et devrait correspondre à la durée indiquée au tableau 1 (0,1 h ou 6 min), mais la moyenne temporelle du carré du courant dans une période de 0,1 h (6 min) ne doit pas dépasser la limite présentée dans la relation suivante :

$$I_{av}^2 = I_{lm}^2 \frac{6}{T_{exp}},$$

où I_{av} est le courant moyen maximal pour une durée d'exposition inférieure à 0,1 h (6 min), I_{lm} est la limite du courant à travers chaque pied (100 mA) telle que spécifiée au tableau 3, et T_{exp} est la durée d'exposition en minutes pendant une période de 0,1 h (6 min). Le tableau 4 indique les valeurs plus élevées de I_{av} permises pour des temps d'exposition d'une durée de moins de 0,1 h (6 min).

Tableau 4
Moyenne temporelle des limites de courants induits et de courants de contact pour plusieurs durées d'exposition aux bandes de fréquences entre 0,1–110 MHz : travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes

durée d'exposition (min)	moyenne temporelle (6 minutes) du courant de contact ou du courant induit (valeur efficace) à travers chaque pied (mA)
6	100
5	110
4	123
3	141
2	173
1	245
0,5	346*

* Le courant maximal instantané pour des durées d'exposition inférieures à 0,5 min est 350 mA.

Remarque : Les limites présentées ci-haut peuvent être insuffisantes pour éviter l'effet de surprise et les brûlures résultant de rejets transitoires d'étincelles lors d'un contact intermittent avec des objets alimentés en courant.

Afin de limiter une hausse de température dans les extrémités, tels que les chevilles ou les poignets, un courant instantané maximal de 350 mA ne doit pas être dépassé[7] lorsque des individus sont exposés pendant des temps d'exposition d'une durée de moins de 0,5 min.

Exemple 2.3 :

Présumez que les moyennes temporelles des courants induits à travers les deux pieds d'un travailleur sous RF ont été déterminées comme étant 5 mA, 80 mA et 120 mA à 0,005 MHz, 0,06 MHz et

1 MHz, respectivement. Les valeurs relatives basées sur les limites de courant dans les bandes de fréquences d'intérêt sont comme suit :

$r_1 = (5/10)^2 = 0,25$ pour 0,005 MHz (dans la bande de fréquences de 0,003–0,1 MHz)

$r_2 = (80/120)^2 = 0,44$ pour 0,06 MHz (dans la bande de fréquences de 0,003–0,1 MHz)

$r_3 = (120/200)^2 = 0,36$ pour 1 MHz (dans la bande de fréquences de 0,1–110 MHz)

Où $r_1 + r_2 + r_3 = 1,05$, ce qui dépasse l'unité, donc le courant total n'est pas conforme à la limite du Code de sécurité. Il est à noter que 10 mA et 120 mA ont été obtenus en substituant $f = 0,005$ et 0,06, respectivement, dans le terme de limite d'exposition $2000f$ qui se retrouve à la colonne 2 du tableau 3.

2.1.4 Limites d'intensité maximale pour un champ pulsé

Pour une exposition à un champ électromagnétique pulsé dans la gamme de fréquences de 0,1 à 300 000 MHz, la valeur maximale du champ instantané (crête temporelle), exprimée en intensité de champ électrique, ne doit pas dépasser 100 kV/m. Pour des durées d'impulsions inférieures à de 100 ms, et dans la gamme de fréquences précédente, les limites maximales devraient être calculées en utilisant la formule présentée à l'annexe IV. Si les limites maximales calculées dépassent 100 kV/m, la limite d'exposition devra être prise comme étant 100 kV/m.

2.2 Exposition de personnes non classifiées comme travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes (incluant le grand public)

2.2.1 Limites de l'intensité du champ

(a) Une personne autre qu'un travailleur exposé aux RF et aux micro-ondes ne doit pas être exposée à un rayonnement électromagnétique dans la bande de fréquences indiqué à la colonne 1 du tableau 5 si l'intensité du champ est supérieure à la valeur indiquée à la colonne 2 ou 3 du tableau 5, une fois la moyenne temporelle et spatiale calculée, ou si la densité de puissance excède la valeur indiquée à la colonne 4 du tableau 5 (moyennes spatiale et temporelle). La moyenne spatiale est calculée sur une superficie équivalente à la coupe transversale verticale du corps humain (surface projetée). Pour

les fréquences jusqu'à 15 000 MHz, la moyenne doit être calculée sur 0,1 h (6 min), tandis que pour les fréquences dépassant ce chiffre, la période de temps pendant laquelle la moyenne temporelle est calculée est différente et est décrite à l'article 2.3.2.

(b) Lorsque le rayonnement électromagnétique est composé d'un nombre de fréquences dans la même ou dans de différentes bandes de fréquences de la colonne 1 du tableau 5, le rapport entre la valeur mesurée à chaque fréquence et la limite à cette fréquence telle qu'indiquée à la colonne 2, 3 ou 4 doit être calculée. Les moyennes spatiale et temporelle de la somme de tous les rapports pour chaque fréquence ne doit pas dépasser l'unité. Pour les mesures d'intensité de champ, les valeurs et les limites doivent être élevées au carré avant de calculer les rapports. Pour plus de détails au sujet des calculs de la somme, se référer à l'article 2.1.1.

Tableau 5
Limites d'exposition pour les personnes non classifiées comme travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes (incluant le grand public)

1 fréquence (MHz)	2 intensité du champ électrique; valeur efficace (V/m)	3 intensité du champ magnétique; valeur efficace (A/m)	4 densité de puissance (W/m^2)	5 durée (temps pendant lequel la moyenne est calculée) (min)
0.003–1	280	2,19		6
1–10	$280/f$	$2,19/f$		6
10–30	28	$2,19/f$		6
30–300	28	0,073	2*	6
300–1 500	$1,585f^{0.5}$	$0,0042f^{0.5}$	$f/150$	6
1 500–15 000	61,4	0,163	10	6
15 000–150 000	61,4	0,163	10	$616\,000/f^{1.2}$
150 000–300 000	$0,158f^{0.5}$	$4,21 \times 10^{-4}f^{0.5}$	$6,67 \times 10^{-5}f$	$616\,000/f^{1.2}$

* La limite de la densité de puissance est applicable à des fréquences supérieures à 100 MHz.

Remarques : 1. Fréquence, f, est en MHz.
2. Une densité de puissance de 10 W/m^2 est équivalente à 1 mW/cm^2.
3. Une intensité de champ magnétique de 1 A/m correspond à 1,257 microtesla (μT) ou 12,57 milligauss (mG).

2.2.2 Limitations fondamentales – Limites du débit d'absorption spécifique (*DAS*)

DAS, tel que défini à l'annexe VIII, est une mesure du débit auquel l'énergie électromagnétique est absorbée dans le corps. Les méthodes utilisées pour déterminer *DAS* sont décrites à l'annexe V. À des fréquences entre 100 kHz et 10 GHz, les limites *DAS* prévalent sur l'intensité du champ et la densité de puissance et ne doivent pas être dépassées.

Le *DAS* devrait être déterminé pour les cas où il y a eu exposition d'une distance de moins de 20 cm de la source. Lorsque la détermination du *DAS* n'est pas pratique, l'intensité du champ ou la densité de puissance seront mesurées. Lorsque la détermination du *DAS* est possible, les valeurs indiquées au tableau 6 ne doivent pas être dépassées :

Tableau 6
Limites de *DAS* pour les personnes non classifiées comme travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes (incluant le grand public)

condition	limite de *DAS* (W/kg)
Le *DAS* moyen pour tout le corps.	0,08
Le *DAS* localisé pour la tête, le cou et le tronc – moyenne d'un gramme (g) de n'importe quel tissus.*	1,6
Le *DAS* dans les membres – moyenne de 10 g de tissus.*	4

* Définis comme un volume de tissus sous formed'un cube.

Quoique n'étant pas une exigence du Code, il est suggéré que, lorsque possible, le *DAS* moyen de l'organe de l'oeil ne dépasse pas 0,2 W/kg. Tel que mentionné à l'annexe VII, cette suggestion restera jusqu'à ce qu'il y ait suffisamment d'information scientifique disponible afin de pouvoir évaluer avec précision les effets sur la santé de l'exposition de l'oeil à des RF.

2.2.3 Limites du courant de contact et du courant induit

Les limites pour le courant induit et le courant de contact ont comme objectif de réduire la possibilité de choc RF ou de brûlures de la manière suivante:

(a) Pour des travailleurs exposés à des RF et des micro-ondes se tenant debout (n'ayant aucun contact avec des objets métalliques), la valeur du courant induit par le rayonnement électromagnétique

dans le corps humain décrite dans les bandes de fréquences indiquées à la colonne 1 du tableau 3 ne doit pas dépasser la valeur donnée à la colonne 2 du tableau 3. La méthode de mesurage du courant induit est décrite à l'annexe V.

(b) Aucun objet avec lequel un travailleur exposé aux RF et aux micro-ondes peut entrer en contact par prise en main ne doit être excité par un rayonnement électromagnétique dans les bandes de fréquences indiquées à la colonne 1 du tableau 3 de telle façon que le courant circulant dans un circuit électrique, ayant l'impédance équivalente à celle du corps humain, dépasse la valeur indiquée à la colonne 3 du tableau 3, telle que mesurée avec un instrument. Le mesurage du courant de contact est décrit à l'annexe V.

Tableau 7
Limites de courant induit et de contact pour personnes non classifiées comme travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes (incluant le grand public)

1 fréquence (MHz)	2 courant induit; valeur efficace (mA) à travers		3 courant de contact; valeur efficace (mA) par prise en main et à travers chaque pied	4 durée (temps pendant lequel la moyenne est calculée) (min)
	les deux pieds	chaque pied		
0,003–0,1	900 f	450 f	450 f	1 s
0,1–110	90	45	45	0,1 h (6 min)

Références : 1. Fréquence , f, est en MHz.
2. Les limites présentées ci-haut peuvent être insuffisantes pour éviter l'effet de surprise et les brûlures résultant de rejets transitoires d'étincelles lors d'un contact intermittent avec des objets alimentés en courant.

(c) Lorsque le rayonnement électromagnétique est composé d'un nombre de fréquences dans la même ou dans différentes bandes de fréquences, tel qu'indiqué à la colonne 1 du tableau 7, le rapport entre le carré du courant mesuré à chaque fréquence et le carré de la limite à cette fréquence, indiquée à la colonne 2 ou 3 (dépendant si le courant est induit ou de contact) devra être déterminé et la somme de tous les rapports obtenus à chaque fréquence ne doit pas dépasser l'unité une fois la moyenne temporelle calculée. Pour plus de détails au sujet des calculs de la somme, se référer à l'article 2.1.3.

(d) Pour des fréquences entre 3 kHz et 100 kHz, la période pendant laquelle la moyenne temporelle du courant induit et du courant de contact est calculée est d'une seconde(s). Pour des fréquences entre 100 kHz et 110 MHz, la période pendant laquelle la moyenne temporelle est calculée devrait être appliquée au carré des courants induits et de contact et devrait correspondre au temps de moyennage indiqué au tableau 5 (0,1 h ou 6 min), mais la moyenne temporelle du carré du courant dans une période de 0,1 h (6 min) ne doit pas dépasser la limite présentée dans la relation suivante :

$$I_{av}^2 = I_{lm}^2 \frac{6}{T_{exp}},$$

où I_{av} est le courant moyen maximal pour une durée d'exposition inférieure à 0,1 h (6 min), I_{lm} est la limite du courant à travers chaque pied (45 mA) telle que spécifiée au tableau 7, et T_{exp} est la durée d'exposition en minutes pendant une période de 0,1 h (6 min). Le tableau 8 indique les valeurs plus élevées de I_{av} permises pour des temps d'exposition d'une durée de moins de 0,1 h (6 min).

Tableau 8
Moyenne temporelle des limites de courants induits et de courants de contact pour plusieurs durées d'exposition aux bandes de fréquences entre 0,1-110 MHz pour les personnes non classifiées comme travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes (incluant le grand public)

durée d'exposition (min)	moyenne temporelle (6 minutes) du courant de contact ou du courant induit (valeur efficace) à travers chaque pied (mA)
6	45
5	49
4	55
3	64
2	78
1	110
0,5	155*

* Le courant maximal instantané pour des durées d'exposition inférieures à 0,5 min. est 155 mA.

Remarque : Les limites présentées ci-haut peuvent être insuffisantes pour éviter l'effet de surprise et les brûlures résultant de rejets transitoires d'étincelles lors d'un contact intermittent avec des objets alimentés en courant.

Pour des durées d'exposition inférieures à 0,5 minutes, un courant instantané maximal de 155 mA ne doit pas être dépassé.

2.2.4 Limites d'intensité maximale pour un champ pulsé

Pour une exposition à un champ électromagnétique pulsé dans la gamme de fréquences de 0,1 à 300 000 MHz, la valeur maximale du champ instantané (crête temporelle), exprimée en intensité de champ électrique, ne doit pas dépasser 100 kV/m. Pour des durées d'impulsions inférieures à 100 ms, et dans la gamme de fréquences précédente, les limites maximales devraient être calculées en utilisant la formule présentée à l'annexe IV. Si les limites maximales calculées dépassent 100 kV/m, la limite d'exposition devra être prise comme étant 100 kV/m.

2.3 Détermination de la moyenne temporelle

2.3.1 Fréquences de 0,003 MHz à 15 000 MHz

Une seule mesure suffit, à moins que le champ change de façon significative (plus de 20%) en une période de 0,1 h, dans quel cas la moyenne temporelle des valeurs doit être calculée en prenant plusieurs mesures. Certains instruments modernes ont la capacité de calculer la moyenne temporelle. Si cette option n'est pas disponible sur l'instrument utilisé, la moyenne temporelle sur une période supérieure à 0,1 h peut être obtenue en utilisant la formule suivante :

(a) Afin d'obtenir la moyenne temporelle de l'intensité efficace du champ électrique (E) ou magnétique (H), veuillez utiliser la formule appropriée :

$$E = \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^{n} E_i^2 . \Delta t_i \right]^{1/2}$$

ou

$$H = \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^{n} H_i^2 . \Delta t_i \right]^{1/2} ,$$

où E_i et H_i sont respectivement les intensités efficaces des champs électriques et magnétiques, considérées comme étant constantes pendant la i^{ème} période de temps, Δt_i est la durée en minutes de la i^{ème} période de temps, et n est le nombre de périodes de temps en 6 minutes (0,1 h).

(b) Afin d'obtenir la moyenne temporelle de la densité de puissance W, veuillez utiliser la formule suivante :

$$W = (1/6) \sum_{i=1}^{n} W_i \, \Delta t_i ,$$

où W_i est la densité de puissance mesurée pendant la i ^{ème} période de temps.

(c) Afin d'obtenir la moyenne temporelle du *DAS*, veuillez utiliser la formule suivante :

$$DAS = (1/6) \sum_{i=1}^{n} (DAS)_i \, \Delta t_i ,$$

où $(DAS)_i$ est le *DAS* mesuré pendant la i ^{ème} période de temps.

Remarques : (1) Pour chacune des formules précédentes, la relation suivante doit être satisfaite :

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta t_i = 6 \, min,$$

(2) Pour les champs pulsés, E_i et H_i sont les valeurs efficaces et W_i est la moyenne temporelle de l'intervalle Δt_i . Si les valeurs maximales sont mesurées, les valeurs moyennes ou efficaces doivent être calculées.

2.3.2 Fréquences de 15 000 MHz à 300 000 MHz

Dans la gamme de fréquences de 15 000 MHz à 300 000 MHz, la durée de temps (en minutes) pendant laquelle la moyenne pour l'intensité de champ sera calculée devra être déterminée en utilisant la formule suivante :

$$durée \ (temps \ pendant \ lequel \ la \ moyenne \ est \ calculée) = 616\,000 / f^{1,2},$$

où f est la fréquence en MHz.

2.4 Mesures et évaluation

2.4.1 Mesures sur le terrain – détermination de la moyenne spatiale

Les mesures doivent être effectuées à l'aide de capteurs (sondes) placés à un minimum de 0,2 m de tout objet ou personne, afin de s'assurer que les limites spécifiées aux articles 2.1.1 et 2.2.1 sont respectées. Afin de déterminer la moyenne spatiale de la valeur, les valeurs locales, incluant la valeur maximale, doivent être mesurées sur une surface perpendiculaire au sol de 0,35 m de largeur par 1,25 m de hauteur et à une distance raisonnable (par exemple, 0,5 m) au-dessus du sol. Il est préférable que les points de mesure soient distribués uniformément sur la surface d'échantillonnage. Les valeurs locales doivent être mesurées en neuf points ou plus. Lorsque le champ est raisonnablement uniforme (±20%), tel qu'un champ éloigné, il suffit de prendre des mesures en un point représentatif de l'espace occupé par une personne. Plus de détails sur les mesures du champ et la détermination de la moyenne spatiale sont présentés à l'annexe V. Les moyennes spatiales doivent être calculées à partir des formules suivantes :

$$E = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} E_i^2 \right]^{1/2} ,$$

$$H = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} H_i^2 \right]^{1/2} ,$$

$$W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} W_i ,$$

où n est le nombre de points de mesure, E_i, H_i et W_i sont respectivement, l'intensité du champ électrique, l'intensité du champ magnétique et la densité de puissance mesurés au $i^{ème}$ point.

2.4.2 Détermination de la valeur de *DAS*

Afin de satisfaire aux exigences des articles 2.1.2 et 2.2.2, les valeurs de *DAS* doivent être déterminées avec une marge d'erreur inférieur à ±25%. Toute méthode de calculs ou de mesures appropriée et fiable peut être utilisée. Pour plus d'information, veuillez consulter l'annexe V.

2.4.3 Mesures du courant induit et du courant de contact

Dans certaines conditions, le courant induit peut dépasser les limites spécifiées aux tableaux 3 et 7 même si les intensités du champ électrique, une composante importante du courant induit, sont inférieures aux limites spécifiées aux tableaux 1 et 5[8,9]. Ces conditions peuvent se présenter même lorsque l'intensité du champ électrique est aussi basse que 25% de la limite d'exposition.

Les courants de contact doivent être mesurés pour n'importe quel objet métallique conducteur avec lequel une personne peut entrer en contact et qui est situé dans un champ RF à haute intensité. Pour effectuer les mesures, un circuit électrique ayant l'impédance du corps humain devra être utilisé. Dans certaines circonstances, le courant induit peut dépasser les limites spécifiées aux tableaux 3 et 7 même si les intensités du champ électrique, une composante importante du courant de contact, sont inférieures aux limites spécifiées aux tableaux 1 et 5. Ces conditions peuvent se présenter même lorsque l'intensité du champ électrique est aussi basse que 20% de la limite d'exposition indiquée aux tableaux 1 et 5. Pour plus de détails, veuillez consulter l'annexe V.

3. Emplacement et installation

3.1 Principes fondamentaux

Afin d'établir des mesures de protection dans les secteurs où des dispositifs RF sont utilisés, il est nécessaire de prendre en considération le temps que les travailleurs peuvent passer dans ces secteurs. Lors de la surveillance des dispositifs RF :

(a) les niveaux de rayonnement dans les zones contrôlées où un séjour limité est permis doivent être connues. Ces zones doivent être désignées en conséquence et la durée de séjour maximale doit être affichée, et

(b) il ne faut pas que l'exposition aux rayonnements ainsi que les courants induits et de contact dans les zones non contrôlées dépassent les niveaux maximaux recommandés à l'article 2.2.

3.2 Recommandations générales

(a) Des symboles de mise en garde, tel que spécifiés à l'article 7.1 ou d'autres symboles appropriés, indiquant la présence de RF doivent être affichés conformément aux recommandations des articles 7.2 ou 7.3.

(b) Les régions entourant des sources de rayonnement RF de forte puissance doivent être clôturées afin d'empêcher l'accès non autorisé aux endroits où une surexposition pourrait se produire. Si une clôture en métal est utilisée, les limites de courant de contact spécifiées aux tableaux 3 et 7 doivent être respectées.

(c) Lors du choix d'un emplacement d'un dispositif RF, il faut considérer la possibilité pratique d'expositions multiples provenant de champs et de fuites de rayonnements de d'autres dispositifs installés à proximité.

(d) Des objets métalliques inutiles ne doivent pas se trouver à proximité de tout dispositif RF, car leur présence pourrait entraîner des champs de forte intensité dans certains endroits.

3.3 Dispositifs de chauffage à RF et à micro-ondes

Les dispositifs de chauffage à RF et à micro-ondes sont utilisés pour convertir de l'énergie RF en chaleur. Ils peuvent être composés soit d'électrodes, de bobines ou d'antennes qui produisent des rayonnements dans l'objet à chauffer ainsi que des rayonnements superflus dans la région environnante. Ces dispositifs peuvent avoir une application dans le domaine de la recherche scientifique, des soins médicaux et de l'industrie. Certains exemples de ces dispositifs sont les appareils de chauffage et de scellement RF diélectriques pour la production de matériaux diélectriques et de l'équipement de diathermie pour des applications thérapeutiques. L'utilisation de tels dispositifs exige le respect des recommandations suivantes :

(a) Lorsque l'énergie rayonnante est dirigée vers des zones occupées, les précautions appropriées doivent être prises afin d'assurer que l'exposition des personnes ne dépasse pas les limites spécifiées à l'article 2. Lorsque le niveau maximal, à la position de l'opérateur, est supérieur aux spécifications indiquées à l'article 2, des mesures appropriées doivent être prises, telles que le blindage, afin de baisser les niveaux d'exposition aux valeurs précisées à l'article 2. De l'information au sujet du blindage pour les appareils de chauffage et de scellement RF diélectriques peut être trouvée ailleurs[10].

(b) Lorsque les intensités de champ produites par un dispositif de chauffage à RF et à micro-ondes dépassent les limites spécifiées à l'article 2.2 dans des régions accessibles à des personnes non classifiées comme travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes, un indicateur qui fournit un avertissement visible lorsque l'instrument fonctionne doit être présent. Des précautions devront être prises afin d'assurer qu'aucune personne non classifiée soit présente dans les régions où les limites sont dépassées lorsque l'instrument est en marche.

Lors de l'évaluation de l'exposition de l'opérateur, il est conseillé de mesurer le courant induit du corps ainsi que les mesures de champs électriques et magnétiques[10].

3.4 Dispositifs médicaux et interférences électromagnétiques

Il est préférable que les dispositifs médicaux RF soient utilisés dans une pièce spécialement conçue, choisie ou modifiée afin d'y placer le patient et le dispositif. Les interférences électromagnétiques provenant de dispositifs tels que les dispositifs de diathermie à ondes courtes et les unités d'électro chirurgie peuvent entraîner un mauvais fonctionnement, pouvant éventuellement mener à des conséquences néfastes, de divers dispositifs médicaux tels que les électrocardiographes, les électroencéphalographies, les stimulateurs cardiaques, etc. D'autres sources d'interférence incluent la radiodiffusion, la télédiffusion et le radar, ainsi que des dispositifs de communication mobile (par exemple, le téléphone cellulaire, le walkie-talkie et les émetteurs-récepteurs dans les véhicules)[11]. Les interférences électromagnétiques peuvent généralement être éliminées au moyen de blindage, de filtres ou de mise à la terre des signaux indésirables, ou en redirigeant les dispositifs affectés. La conception des stimulateurs cardiaques s'est améliorée au point où leur prédisposition aux interférences électromagnétiques a presque été éliminée. De l'information concernant l'interférence électromagnétique RF avec les dispositifs médicaux a déjà été publiée[12].

3.5 Fours à micro-ondes

(a) L'ajustement de la tension appliquée, le remplacement du générateur de puissance miro-onde, le démontage des composantes du four et le réajustement des guides d'ondes doivent être accomplis par des individus qualifiés. Les services d'un réparateur qualifié doivent être recherchés lorsqu'on soupçonne un mauvais fonctionnement.

(b) Il faut particulièrement éviter d'endommager la partie du four en contact avec la porte ou les joints de la porte.

(c) L'appareil doit être débranché avant que le couvert du four soit enlevé.

(d) Avant d'introduire la main dans le compartiment arrière du four, les condensateurs à haute tension doivent être déchargés de façon sûre.

(e) Les enclenchements dans les portes ne doivent pas être court-circuités[13].

3.6 Radars et systèmes de communication

(a) Là où possible, le faisceau de l'antenne devra être dirigé vers des zones inoccupées. Par contre, si le faisceau irradie des zones occupées, les limites d'exposition applicables indiquées à l'article 2 doivent être respectées. Si nécessaire, des restrictions au balayage de l'antenne ou une réduction de la puissance RF peuvent être mises en place afin d'empêcher que les niveaux d'exposition soient dépassés dans les régions occupées.

(b) Pour toute installation sous opération, tous les signes et les barrières délimitant les zones de séjour limité ou interdit et tous les systèmes d'enclenchement doivent être installés de façon permanente afin d'éviter un accès accidentel à la zone de séjour interdit.

3.7 Dispositifs électro explosifs

Il faut s'assurer que les dispositifs électro explosifs ne soient pas placés dans des champs RF d'une intensité suffisante à pouvoir entraîner leur détonation. Les circuits d'allumage ainsi que les fils de détonateurs électriques peuvent, dans certaines circonstances, accumuler suffisamment d'énergie provenant des champs RF pour faire exploser les détonateurs[14]. La sensibilité des détonateurs aux champs RF dépend de la fréquence, de la polarisation et de l'intensité du champ ainsi que divers facteurs dans la conception du détonateur, incluant la façon par laquelle il est blindé contre les interférences radio. Le niveau d'intensité du champ qui pourrait être dangereux dépend de sa fréquence : plus la fréquence est basse, plus les détonateurs sont sensibles.

4. Consignes de sécurité pour les opérateurs et le personnel d'entretien des dispositifs RF (travailleurs sous RF)

(a) Le personnel d'entretien et les opérateurs de dispositifs RF doivent être informés des dangers potentiels des radiofréquences.

(b) Tout le personnel doit se trouver hors du faisceau direct d'une RF avant la mise sous tension à des fins d'essai ou d'entretien.

(c) Les instructions et les méthodes de réparation, d'entretien et de fonctionnement d'un dispositif, telles que spécifiées par le fabriquant ou une personne compétente, doivent être facilement accessible aux, et suivies par les opérateurs et le personnel d'entretien.

(d) Les pièces de rechange doivent être équivalentes aux pièces d'origine. Les lignes de transmission, les guides d'ondes, les joints, les brides, et autres morceaux semblables, doivent avoir les mêmes caractéristiques de fonctionnement que les pièces d'origine ou elles doivent être approuvées par le fabriquant du matériel d'origine, ou par une personne qualifiée dans l'utilisation sécuritaire de cet équipement.

(e) Les essais des dispositifs avant ou après une réparation quelconque doit être effectuée une fois que les blindages protecteurs, les guides d'ondes et les autres composants soient remis en place.

(f) Le bon fonctionnement du matériel électronique et des appareils de mesure de la puissance doit être vérifié à l'avance, c'est-à-dire, avant leur utilisation à la station de réparation ou à l'endroit d'essai.

(g) Le réglage des tensions, le remplacement du générateur de puissance RF, le démontage des composantes et le réajustement des lignes de transmission doivent être entrepris par des personnes qualifiées. Les services d'un réparateur compétent doivent être recherchés lorsque un mauvais fonctionnement est soupçonné.

(h) Le fonctionnement sécuritaire de tous les systèmes d'enclenchement doit être testé et les opérateurs ne doivent pas court-circuiter les enclenchements de sécurité.

(i) Un générateur RF doit être testé en ayant une charge appropriée mise en contact à sa sortie, ou en ayant l'énergie rayonnée absorbée par du matériel anéchoïde. L'énergie générée ne doit pas pouvoir rayonner librement dans les zones occupées.

5. Protection du grand public

(a) Sauf dans des circonstances particulières, les membres du grand public ne peuvent avoir accès aux zones où les niveaux d'exposition dépassent ceux spécifiés à l'article 2.2.

(b) Lorsque l'accès est possible, des signes de mise en garde doivent être affichés à l'entrée de chaque endroit où l'on retrouve des dispositifs RF ayant la capacité de produire des niveaux supérieurs, sous des conditions de fonctionnement normales, à ceux spécifiés à l'article 2.2.

(c) Tout dispositif ayant la capacité de produire des fuites qui entraîneraient des niveaux d'exposition proche de ceux spécifiés à l'article 2.2 dans des endroits où l'accès public est permis sans restrictions, doit être vérifié conformément aux règlements applicables après l'installation, lorsqu'on soupçonne un mauvais fonctionnement et après toute modification ou réparation qui pourrait entraîner des fuites.

6. Inspection des rayonnements RF

6.1 Méthode d'inspection des rayonnements RF

L'objectif d'une inspection des rayonnements est de déterminer si le dispositif ou l'installation est conforme aux normes recommandées de fonctionnement et d'exposition du personnel et d'évaluer l'effet de l'emplacement du dispositif sur les zones contrôlées de l'environnement immédiat. En effectuant l'inspection des rayonnements RF, les recommandations suivantes doivent être suivies :

(a) L'inspection des rayonnements doit être effectuée par des personnes compétentes.

(b) Avant que les opérations normales commencent, une inspection de toutes les nouvelles installations ayant la capacité de produire des niveaux d'exposition supérieurs à ceux spécifiés à l'article 2.2 doit être faite.

(c) Une inspection devra être faite suivant toute réparation, augmentation en puissance rayonnée ou changement des conditions de travail, des blindages ou des écrans protecteurs qui pourraient augmenter les niveaux d'exposition, afin d'assurer que les niveaux ne dépassent pas les limites spécifiées à l'article 2. Ceci s'applique aux travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes ainsi qu'au grand public.

(d) Une inspection devra être effectuée lorsqu'un mauvais fonctionnement qui pourrait augmenter les niveaux des champs, les courants induits du corps ou les courants de contact est soupçonné.

(e) Une inspection devra être effectuée aussi fréquemment que possible autour des dispositifs et aux installations ayant la capacité de produire des intensités, des courants induits du corps ou des courants de contact supérieurs aux limites précisées à l'article 2.

(f) Les instruments d'inspection doivent être adaptés à la source de RF ainsi qu'aux conditions d'exposition telles que la fréquence, le niveau d'intensité du champ ou la densité de puissance, champ rapproché ou éloigné. Il est suggéré d'adopter les techniques de mesure spécifiées à l'annexe V. Cependant, d'autres techniques appropriées peuvent aussi être utilisées[15,16]. Les instruments d'inspection doivent être entièrement étalonnés au minimum une fois

tous les trois ans. Leur performance devrait être vérifiée par comparaison à un autre instrument étalonné avant d'entreprendre une inspection.

(g) Lors d'une inspection, les relevés complets des paramètres du champ (l'intensité du champ électrique, l'intensité du champ magnétique ou la densité de puissance et les courants induits du corps et de contact) pour chaque poste de travail devront être conservés afin d'aider à une évaluation réaliste de la conformité.

(h) Lors de l'inspection de tout dispositif ou installation RF, tous les enclenchements de sécurité et les interrupteurs de commande « marche-arrêt » devront être examinés et remis en ordre. Les symboles, étiquettes et inscriptions de mise en garde requis doivent être lisibles et bien apostés au dispositif.

6.2 Relevés et recommandations

(a) Les relevés de toutes les mesures d'inspection de rayonnements et leur évaluation doivent être conservés. Les relevés doivent contenir la date à laquelle les mesures ont été prises, le nombre et le type des dispositifs dans la zone inspectée, le lieu des mesures par rapport au dispositif RF, le nom et l'organisation des personnes responsables de l'inspection, les résultats de l'inspection, ainsi que le modèle, le numéro de série et la date d'étalonnage des instruments utilisés pour effectuer les mesures. D'autres informations qui pourraient être utiles sont des photographies, un schéma d'implantation, etc.

(b) Les recommandations nécessaires concernant les changements à apporter au blindage, à l'emplacement et au fonctionnement de dispositif basés sur l'évaluation des mesures d'inspection devront être faites aux personnes responsables des dispositifs. Une fois que les mesures correctives basées sur ces recommandations auront été prises, il faudra effectuer une autre inspection afin de vérifier l'efficacité des recommandations.

7. Symboles de mise en garde

7.1 Conception des symboles de mise en garde recommandés

Il est suggéré que les trois symboles de mise en garde décrits ici soient utilisés. Ces symboles, ou d'autres symboles appropriés doivent être utilisés. Ces symboles ont été conçus afin d'indiquer la nature et l'importance du danger associé à un dispositif ou à un endroit donné. La nature du danger est indiquée par le symbole et le degré du danger, par la forme et la couleur de l'enseigne. Les symboles de mise en garde et leur signification sont donnés ci-dessous. Le symbole doit avoir des dimensions appropriées aux conditions d'utilisation afin qu'on puisse le distinguer de façon efficace, étant soit illuminé ou employant des matériaux réfléchissant tel que nécessaire.

- Le symbole et texte ***ATTENTION*** est ***NOIR*** sur fond ***JAUNE***.
- Le symbole et texte ***PRUDENCE*** est ***NOIR*** sur fond ***ORANGE***.
- Le symbole et texte ***DANGER*** est ***ROUGE*** sur fond ***BLANC***.

En général, le symbole ***ATTENTION*** n'est pas utilisé pour la démarcation des zones, mais il est plutôt placé sur les dispositifs pour indiquer qu'ils émettent des rayonnements RF. Tous les dispositifs pour lesquels des règlements ont été promulés en vertu de la Loi sur les dispositifs émettant des radiations ont un symbole ***ATTENTION*** faisant partie des exigences d'étiquetage. Par exemple, tous les fours à micro-ondes conformes aux Règlements sur les fours à micro-ondes sont affixés d'un symbole ***ATTENTION***. Les symboles ***PRUDENCE*** et ***DANGER*** sont utilisés pour identifier des dispositifs dangereux ainsi que pour la démarcation des zones.

7.2 Démarcation des zones

(a) Le symbole ***PRUDENCE*** doit être placé à l'entrée de toute zone dans laquelle une inspection a démontré que les niveaux de RF sont supérieurs à ceux de spécifiés à l'article 2.2, mais sont inférieurs

à ceux de spécifiés à l'article 2.1. Le symbole ***PRUDENCE*** indique qu'un séjour limité est permis à l'intérieur de la zone démarquée pour des travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes. Il doit être placé là où il est nécessaire d'indiquer une durée de séjour recommandé. Dans de tels cas, le symbole ***PRUDENCE*** doit être accompagné d'une inscription telle que : « Prudence, rayonnement radiofréquence – durée maximale de séjour (t) minutes » et son équivalent en anglais, où t est calculé selon les limites spécifiées à l'annexe II, en tenant compte que la moyenne est calculée sur 0,1 h.

(b) Le symbole ***DANGER*** doit être placé à l'entrée de toute zone où les niveaux de rayonnements dépassent les limites spécifiées à l'article 2.1. Le symbole ***DANGER*** indique donc une zone d'***ACCÈS INTERDIT***. Lorsqu'il est utilisé pour la démarcation des zones, le symbole ***DANGER*** doit être accompagné d'une inscription telle que : « Danger, rayonnement radiofréquence – défense d'entrer » et son équivalent en anglais.

(c) Les symboles doivent être clairement visibles et identifiables à une distance de lecture où une exposition significative peut avoir lieu, ou à l'entrée des zones de séjour limité.

7.3 Symboles pour l'étiquetage des dispositifs

Lorsque les symboles sont utilisés pour l'étiquetage d'un dispositif, les recommandations suivantes s'appliquent:

(a) Le symbole ***PRUDENCE*** doit être appliqué à tout dispositif, en cours de mise au point ou utilisé à des fins industrielles, scientifiques ou médicales, si le dispositif produit des niveaux d'exposition supérieurs à ceux spécifiés à l'article 2.2, tout en étant inférieurs aux niveaux spécifiés à l'article 2.1. Le symbole ***PRUDENCE*** doit aussi être fixé à un dispositif si le mauvais usage ou une défaillance peut entraîner des lésions dues aux rayonnements RF.

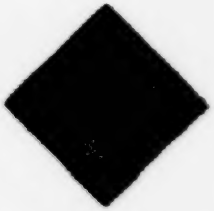
(b) Le symbole ***DANGER*** doit être appliqué à tout dispositif, en cours de mise au point ou utilisé à des fins industrielles, scientifiques ou médicales, si le dispositif produit des niveaux d'exposition supérieurs à ceux spécifiés à l'article 2.1. De plus, même si les niveaux d'exposition sont inférieurs à ceux spécifiés à l'article 2.1, le symbole ***DANGER*** doit être fixé si la défaillance du dispositif peut entraîner des lésions graves dues aux RF, ou la mort.

DÉMARCATION DES ZONES

ATTENTION

RAYONNEMENT RADIOFRÉQUENCE

- zone de séjour sans restrictions
- lésions mineures possibles suite d'usage abusif



PRUDENCE

RAYONNEMENT RADIOFRÉQUENCE

- zone de séjour limité (travailleurs sous RF seulement)
- lésions grâves possibles suite d'usage abusif

DANGER

RAYONNEMENT RADIOFRÉQUENCE

- zone de séjour interdit
- lésions critiques ou possibilité de mort

Annexe I
Limites maximales d'exposition pour des champs RF – représentation graphique

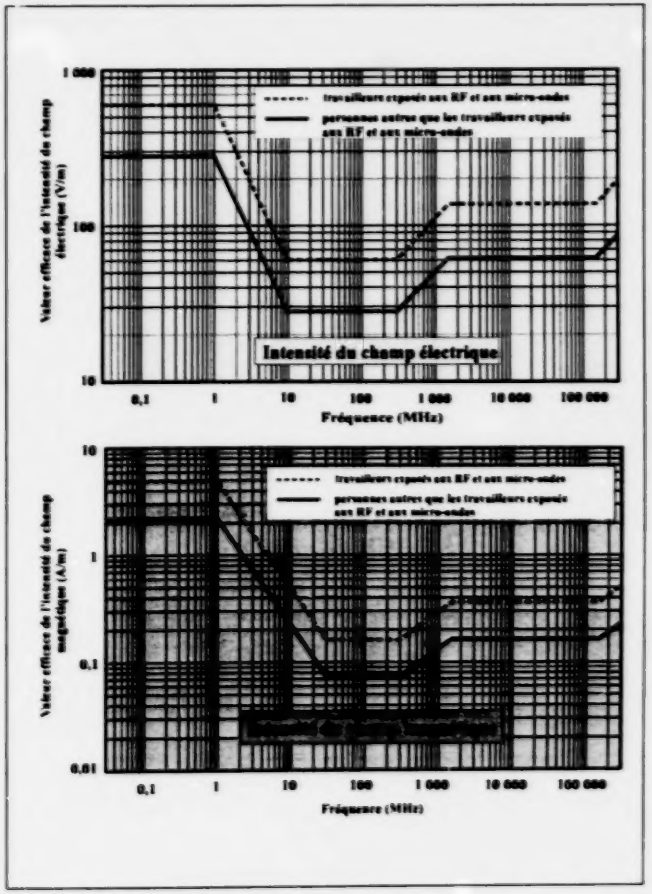


Figure I-1
Intensités maximales des champs électriques et magnétiques pour l'exposition professionnelle et l'exposition du grand public

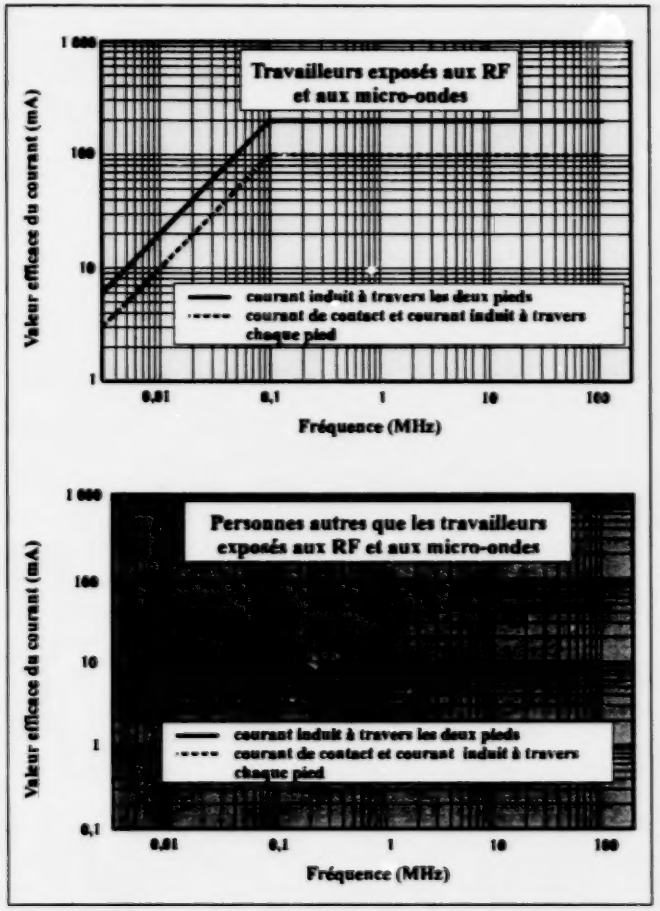


Figure I-2
Courants induits et de contact maximaux

Annexe II
Durée maximale d'exposition pour des périodes de temps inférieures à 0,1 h et des fréquences inférieures à 15 000 MHz

Des limites d'exposition supérieures à celles spécifiées aux tableaux 1 et 5 sont permises lorsque la durée de l'exposition est inférieure à 0,1 h (6 min). Pour le grand public, ceci n'est pas une situation très pratique puisque c'est habituellement difficile de contrôler la période de temps qu'une personne peut passer à un endroit donné où des champs RF plus élevés sont présents. Cependant, cette recommandation peut s'appliquer à des dispositifs fonctionnant de façon intermittente , par exemple les dispositifs qui sont en marche pendant deux minutes à chaque dix minutes.

Pour les travailleurs sous RF, il se peut que, pour des raisons opérationnelles, ils soient obligés d'être exposés à des champs d'intensité plus élevée pendant de courtes périodes de temps. Les durées d'exposition doivent alors être strictement limitées aux valeurs indiquées à l'article 2.1.1. Une minute correspond à la durée la plus courte d'importance pratique.

Des niveaux d'exposition élevés de champs électriques et magnétiques ou de densités de puissance sont permises pour des durées inférieures à 0,1 h (6 min) en autant que les équations de l'article 2.3.1 soient applicables.

Annexe III
Estimation théorique des champs d'exposition

A. Zones de champ proche et de champ éloigné

Les sources de champs électromagnétiques RF ont des caractéristiques très différentes les unes des autres. Aux fins de l'évaluation de l'exposition humaine et de la protection contre des expositions potentiellement dangereuses, les sources RF peuvent être classifiées comme suit :

(a) petites antennes, c'est-à-dire les antennes dont les dimensions sont inférieures à la longueur d'onde (λ);

(b) grandes antennes, c'est-à-dire les antennes dont les dimensions sont supérieures à la longueur d'onde;

(c) les sources produisant des champs de fuite (ou de dispersion), par exemple les dispositifs de chauffage RF par pertes diélectriques et les dispositifs de chauffage RF par induction.

L'espace autour d'une antenne source est souvent divisée en deux zones : la zone de champ proche et la zone de champ éloigné (Figure III-1). La zone de champ rapproché peut être ensuite divisée en deux autres régions: la région de champ d'induction et la région de rayonnement. L'espace immédiat qui entoure l'antenne dans lequel le champ d'induction existe est connu comme la région réactive du champ proche. La majorité de l'énergie électromagnétique dans cette région n'est pas rayonnée, mais plutôt emmagasinée. Les champs rapprochés varient rapidement avec la distance. À une courte distance de l'antenne, le champ réactif rapproché diminue de façon significative, et le champ rapproché rayonnant prédomine. Dans la région rayonnante du champ rapproché, l'énergie se propage en s'éloignant de l'antenne, mais le rayonnement n'a pas un caractère d'onde plane. Au delà de la région rayonnante du champ rapproché est la zone du champ éloignée, où l'intensité du champ varie inversement avec la distance de l'antenne.

Petites antennes. Une antenne ayant des dimensions inférieures à la longueur d'onde de sa fréquence opérationnelle recommandée est

dite petite. Des exemples de petites antennes sont des doublets résonants, les antennes Yagi ou les antennes log-périodiques. La région réactive du champ rapproché de ces antennes s'étend jusqu'à la distance donnée ci-dessous[3]

$$R_s = \lambda l/2\pi , \qquad \text{(III.1)}$$

où

R_s = l'étendue de la région réactive du champ rapproché, en mètres (m)

λ = la longueur d'onde, en mètres (m).

Pour ce type d'antenne, il n'existe pas de formule générale permettant d'évaluer l'intensité du champ dans la zone de champ rapproché. Toutefois, des calculs raisonnables peuvent être accomplis pour certaines antennes (par exemple, les doublets ou les antennes unipolaires). Généralement, pour la plupart des petites antennes, l'évaluation théorique de l'exposition dans la zone de champ rapproché est difficile, et seules des mesures permettent d'évaluer l'intensité du champ de façon simple.

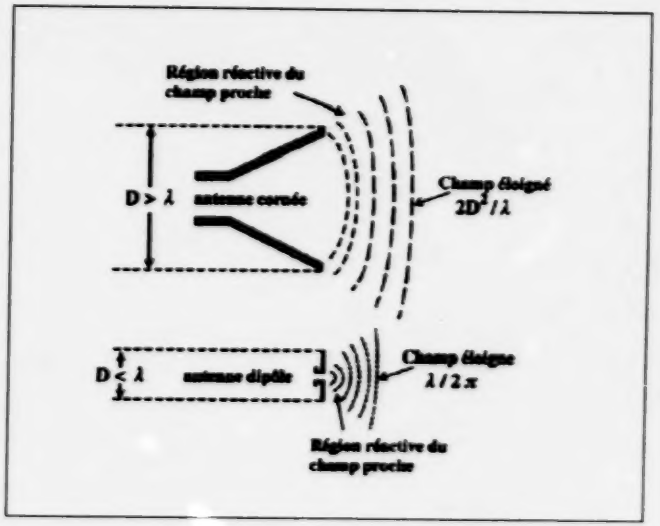


Figure III-1
Grandeur d'antenne en fonction de la séparation de la région de rayonnement du champ rapproché, la région réactive du champ rapproché et la zone de champ éloignée[3].

Grandes antennes. Une antenne ayant des dimensions supérieures à la longueur d'onde de sa fréquence opérationnelle recommandée est dite grande. Des exemples de grandes antennes sont des réflecteurs paraboliques, des réseaux et des antennes cornées. La zone de champ rapproché de ces antennes comporte le champ d'induction qui s'étend jusqu'à la distance spécifiée par l'équation (III.1), suivi d'une région de rayonnement. Dans la région de rayonnement rapproché, l'intensité du champ ne décroît pas nécessairement lorsque la distance de l'antenne augmente; elle peut en effet présenter un caractère oscillatoire. Plus de détails sur la distribution du champ dans le région du champ rapproché rayonnant des antennes à ouverture et à réflecteur sont mentionnés ailleurs[15,17,18].

Dans la littérature, la distance entre l'antenne et la zone de champ éloigné est prise comme étant $2D^2/\lambda$, où D est la grandeur la plus vaste de l'antenne, et λ est la longueur d'onde. À cette distance, la différence de phase maximale des ondes électromagnétiques venant de différents points sur l'antenne est de 22,5 degrés[19]. Lors de l'évaluation des dangers d'irradiation, une plus grande différence de phase, et donc une distance plus courte démarquant le début de la zone de champ éloigné est acceptable. Une distance pratique réaliste d'une grande antenne, telle qu'un réflecteur parabolique, où la zone de champ éloigné débute est[3]

$$R_f = 0{,}5\, D^2/\lambda\,, \qquad \text{(III.2)}$$

où

R_f = la distance qui marque le début de la région de champ éloigné, en mètres (m)
D = la plus grande dimension de l'antenne, en mètres (m)
λ = la longueur d'onde, en mètres (m).

Pour des antennes communes cornées et à réflecteurs, la densité de puissance maximale (à l'intérieur du faisceau de l'antenne) pour des distances inférieures à R_f (dans la zone de champ rapproché) peut être estimée de manière conservatrice comme étant[15, 17, 18]

$$W_m = 4P_T/A\,, \qquad \text{(III.3)}$$

où

W_m = la densité de puissance maximale, en watts par mètre carré (W/m^2)
P_T = la puissance nette livrée à l'antenne, en watts (W)
A = la superficie de l'ouverture physique, en mètres carrés (m^2).

Il est à noter que vers la fin de la région du champ rapproché rayonnante et dans la zone de champ éloigné, les champs électriques et magnétiques sont interdépendants entre eux et avec le densité de puissance comme suit :

$$E/H = \eta \qquad \text{(III.4)}$$

et

$$W = E^2/\eta = H^2\eta\,, \qquad \text{(III.5)}$$

où

E = l'intensité du champ électrique, en volts par mètre (V/m)
H = l'intensité du champ magnétique, en ampères par mètre (A/m)
W = la densité de puissance, en watts par mètre carré (W/m^2)
η = l'impédance caractéristique (pour l'espace libre η = 377 ohms).

Dans la région du champ éloigné, la densité de puissance (W) sur l'axe du faisceau principal peut être calculée à partir de l'expression suivante :

$$W = PIRE/(4\pi r^2) = P_T G/(4\pi r^2)\,, \qquad \text{(III.6)}$$

où

$PIRE$ = la puissance isotrope rayonnée équivalente, en watts (W)
r = la distance de l'antenne, en mètres (m)
P_T = la puissance nette livrée à l'antenne, en watts (W)
G = le gain d'antenne (rapport de puissances) basé sur une antenne isotrope.

L'équation (III.6) peut être utilisée afin d'évaluer W à des distances supérieures à R_f (équation III.2)[15,18]. Pour des distances un peu plus grandes que R_f, l'équation (III.6) donne une surestimation de W inférieure à 0,8 dB ou 20 %[20].

Le gain d'antenne est apparenté aux dimensions de l'antenne par l'équation suivante[19]

$$G = 4\pi A_e/\lambda^2\,, \qquad \text{(III.7)}$$

où

A_e = surface utile de l'antenne, $A_e = \varepsilon A$
A = la superficie de l'ouverture physique de l'antenne, en mètres carrés (m^2)
ε = l'efficacité de l'antenne (typiquement $0,5 \leq \varepsilon \leq 0,75$)
λ = la longueur d'onde, en mètres (m).

Une onde électromagnétique peut aussi être caractérisée par l'intensité des champs électriques et magnétiques. L'intensité du champ électrique efficace à une distance de r de la source avec la *PIRE* sur l'axe du faisceau principal, telle que dérivée de (III.5) et (III.6), est égale à

$$E = [30\ PIRE]^{0,5}/r, \qquad \text{(III.8)}$$

et est exprimée en volts par mètre (V/m).

Les graphiques relatifs à la densité de puissance et aux intensités de champs électriques et magnétiques dans l'espace libre sont démontrés à la figure III-2.

Les équations (III.6) et (III.8) sont utilisées afin de déterminer la densité de puissance et l'intensité de champ dans la région de champ éloigné dans les pires conditions où un gain en puissance (Equation III.7) est appliqué. Il devrait être noté qu'il n'est pas toujours possible de prédire les niveaux de champs maximaux dans et autour des sites d'intérêt. Ceci est dû au fait que les champs RF peuvent être absorbés, reflétés et réfractés par des objets de façon aléatoire et imprévue. Donc, la seule façon de déterminer les niveaux actuels des champs RF est de prendre les mesures.

Sources produisant des champs de fuite. Pour les sources de rayonnement de fuite, il n'existe pas de méthode fiable permettant d'évaluer l'étendue du champ rapproché, son type (soit une région réactive ou de rayonnement) ou les intensités de champs.

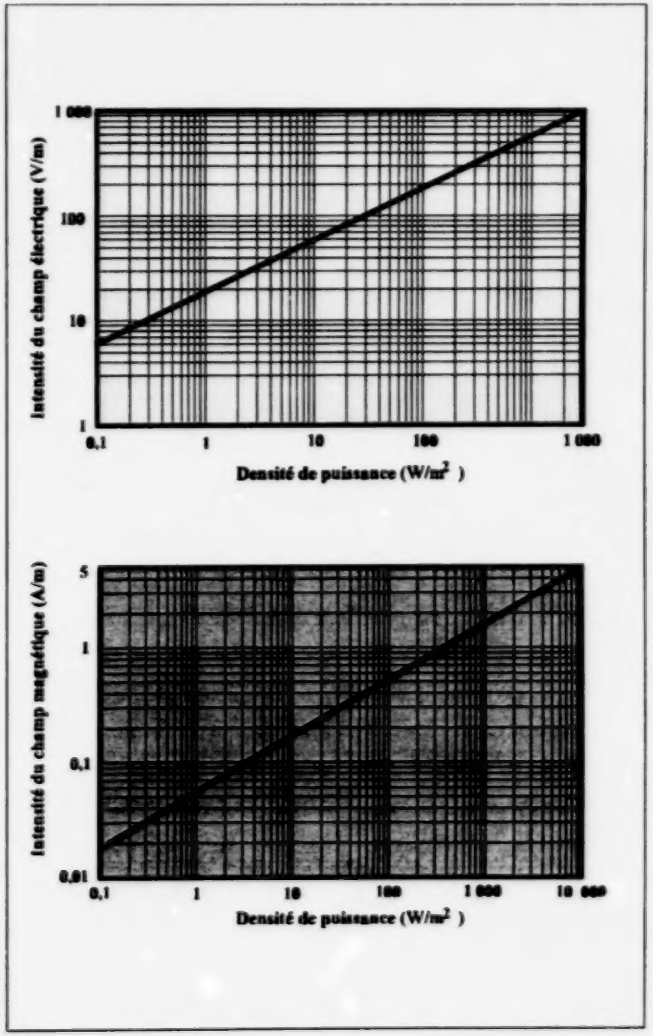


Figure III-2
Grilles de conversion pour une onde plane (10 W/m² = 1 mW/cm²)

Exemple III.1 : Calcul de la distance minimale où l'exposition se situe dans les limites

Une antenne parabolique avec un diamètre de 0,5 m, fonctionnant à 1,20 GHz (1200 MHz) avec une PIRE de 50 W doit être installée dans une région qui est accessible au grand public. Quelle est la distance minimale de l'antenne où l'exposition ne dépasse pas les limites conçues pour le grand public?

1. Calculez la limite d'exposition à la densité de puissance maximale pour le grand public (Tableau 5) :

$$\begin{aligned} W_{limite} &= f/150 \\ &= 1200/150 \\ &= 8\ W/m^2 \end{aligned}$$

2. Calculez la distance minimale en réorganisant l'équation (III.6) afin de résoudre l'équation pour la distance de l'antenne r :

$$\begin{aligned} r_{min} &= [PIRE/(4\pi W_{limite})]^{0,5} \\ &= [50,0/(4,0 \times 3,14159 \times 8,0)]^{0,5} \\ &= 0,705\ m \end{aligned}$$

3. Vérifiez que la distance minimale calculée ci-haut soit dans la zone de champ éloigné (où l'équation III.6 est valide) :

   En premier, calculez la longueur d'onde :

$$\begin{aligned} \lambda &= 300/f \quad (f \text{ est en MHz}) \\ &= 300/1200 \\ &= 0,25\ m \end{aligned}$$

   Puisque le diamètre de l'antenne est supérieur à la longueur d'onde (λ), elle peut être considérée comme une grande antenne. Donc, le début de la région du champ éloigné est calculé en utilisant l'équation (III.2) où le paramètre D est le diamètre du réflecteur :

$$\begin{aligned} R_f &= 0,5\,D^2/\lambda \\ &= 0,5 \times (0,5)^2/0,25 \\ &= 0,5\ m \end{aligned}$$

   Puisque la distance minimale, telle que calculée ci-haut, est dans la zone du champ éloigné de l'antenne, les calculs sont valides. Donc, les membres du grand public ne doivent pas être à une distance inférieure à 0,705 m directement en avant de l'antenne.

B. Puissance moyenne des ondes pulsées

Une onde modulée par impulsions (onde pulsée) est démontrée à la figure III-3.

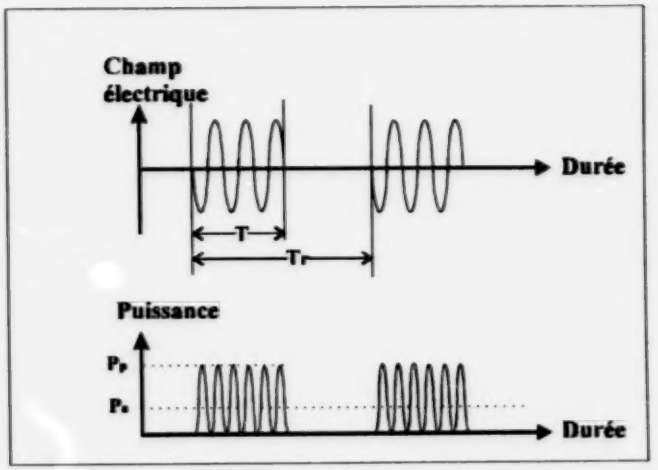


Figure III-3
Champ modulé par impulsions

Ce type de rayonnement est caractéristique des radars.

Le facteur d'utilisation (F) est calculé comme suit :

$$F = T/T_r, \qquad \text{(III.9)}$$

où

T = la durée de l'impulsion, en secondes (s)
T_r = la durée séparant deux impulsions consécutives, en secondes (s).

La fréquence des impulsions répétées est égale à

$$f_p = 1/T_r, \qquad \text{(III.10)}$$

où

f_p = la fréquence des impulsions répétées, en hertz (Hz)
T_r = la durée séparant deux impulsions consécutives, en secondes (s).

La puissance moyenne, P_a, pour une onde pulsée s'exprime comme suit :

$$P_a = P_p F, \quad \text{(III.11)}$$

où

P_p = la puissance de crête, en watts (W)
F = le facteur d'utilisation.

De même, la densité de puissance moyenne, W_a, s'exprime comme suit :

$$W_a = W_p F, \quad \text{(III.12)}$$

où

W_p = la densité de puissance de crête, en watts par mètre carré (W/m^2)
F = le facteur d'utilisation.

C. Antennes à balayage

La densité de puissance efficace, telle qu'observée d'un point stationnaire pour une antenne à balayage en mouvement, peut être évaluée à partir de la densité de puissance mesurée lorsque l'antenne est stationnaire en utilisant l'expression suivante :

$$W_m = KW_s, \quad \text{(III.13)}$$

où

W_m = la densité de puissance efficace pour l'antenne en mouvement, en watts par mètre carré (W/m^2)
K = le facteur rotatoire de réduction de l'antenne
W_s = la densité de puissance, mesurée sur l'axe du faisceau principal de l'antenne stationnaire, à une distance précisée, en watts par mètre carré (W/m^2).

Le facteur rotatoire de réduction en champ rapproché est égal à :

$$K = a/R_\phi, \quad \text{(III.14)}$$

où

a = la dimension de l'antenne dans le plan de balayage (rotation), en mètres (m).
R_ϕ = $r\phi$ = la circonférence du secteur balayé par l'antenne à une distance (r), en mètres (m), à laquelle les mesures ont été effectuées (Figure III-4).
ϕ = angle de balayage, en radians.

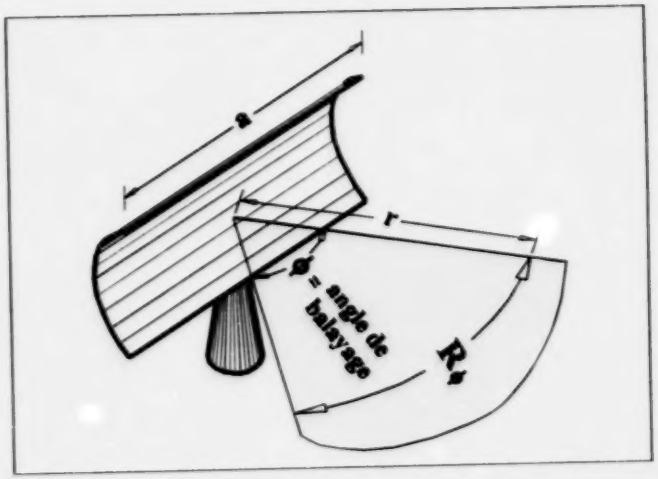


Figure III-4
Facteur rotatoire de réduction en champ rapproché

Le facteur rotatoire de réduction en champ éloigné est :

K = largeur du faisceau à 3 dB/ angle de balayage (III.15)

Exemple III.2 :

Évaluez la densité de puissance maximale du champ rapproché en avant d'une antenne d'un système de radar, ayant les caractéristiques suivantes :

fréquence opérationnelle (f) :	10 GHz (gigahertz)
puissance de crête de l'émetteur (P_p) :	1 MW (megawatts)
durée de l'impulsion (T) :	3 µs (microsecondes)
fréquence de répétition des impulsions (f_p) :	400 Hz
dimensions de l'antenne (D) :	5 m, en diamètre (réflecteur parabolique)

Étapes du calcul :

(i) La longueur d'onde $\lambda = 300/f$ (f en MHz)
$= 0{,}03$ m

(ii) La distance, là où la région du champ éloignée débute
$R_f = 0{,}5\, D^2/\lambda = 417$ m

(iii) La superficie de l'ouverture physique de l'antenne
$A = \pi D^2/4 = 19{,}63\ m^2$

(iv) Le rapport cyclique $F = Tf_p = 1{,}2 \times 10^{-3}$

(v) La puissance moyenne $P_a = P_p F = 1{,}2$ kW.
Ceci équivaut à la puissance nette livrée à l'antenne, P_T.

(vi) La densité de puissance maximale (dans la région du champ rapproché du faisceau de l'antenne)
$W_m = 4P_T/A = 244{,}5\ W/m^2$

L'exposition d'une personne dans la région du champ rapproché devrait être évitée ou limitée à une période de courte durée puisque la densité de puissance dépasse les limites (50 W/m^2 pour des travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes, et 10 W/m^2 pour le grand public).

Exemple III.3:

Déterminez la densité de puissance efficace à une distance de 10 m et de 30 m de l'antenne à balayage en mouvement, en tenant compte des paramètres suivants :

la densité de puissance à 10 m avec une antenne stationnaire :	100 W/m^2
la densité de puissance à 30 m avec une antenne stationnaire :	20 W/m^2
la distance là où la région du champ éloigné débute :	20 m
rotation de l'antenne (ø) :	complète (360° ou 2π radians)
dimensions de l'ouverture de l'antenne (a, b) :	2 m de largeur, 10,16 cm de hauteur
largeur du faisceau de l'antenne :	1,23° horizontal, 25° vertical

Calculs :

(i) L'emplacement à 10 m est dans la région du champ rapproché. À cet emplacement :

la circonférence du balayage de l'antenne $R_\phi = 2\pi \times 10$ m

le facteur rotatoire de réduction $K = a/R_\phi = 2/(2 \times 10) = 0{,}1/\pi$

la densité de puissance efficace lorsque l'antenne est en mode de balayage $W_m = KW_s = (0{,}1/\pi)(100) = 3{,}2\ W/m^2$.

(ii) Le facteur rotatoire de réduction est différent, puisque l'emplacement à 30 m est situé dans le champ éloigné

K = largeur du faisceau à 3 dB / angle de balayage = 1,23°/360°

La densité de puissance efficace lorsque l'antenne est en mode de balayage $W_m = KW_s = (1{,}23/360)(20) = 0{,}07\ W/m^2$.

Annexe IV
Limites d'exposition à des champs RF pulsés

1. Bien que la densité de puissance des ondes pulsées doit être dans les limites spécifiées aux tableaux 1 et 5, la valeur maximale de l'intensité instantanée du champ électrique (crête temporelle) de l'onde ne doit pas être supérieure à 100 kV/m (articles 2.1.4 et 2.2.4). Les calculs pour la densité de puissance moyenne sont discutés à l'annexe III.B.

2. Lors de l'exposition aux champs RF pulsés où la durée des impulsions est inférieure à 100 millisecondes (ms) et les fréquences sont dans la gamme de 0,1 MHz à 300 000 MHz, la limite d'exposition exprimée en densité de puissance maximale pour une seule impulsion a pour but de limiter la densité d'énergie d'une seule impulsion en se basant sur :
   (a) La densité d'énergie d'une seule impulsion ne doit pas dépasser une valeur d'un cinquième de la densité d'énergie maximale permise dans une période de temps de 0,1 h. La relation mathématique est comme suit[5]

$$W_P = \frac{W_L T_a}{5 T} \quad ,$$

où

W_P = la limite d'exposition de la densité de puissance maximale pour une seule impulsion, en W/m^2

W_L = la limite d'exposition à une onde continue telle que spécifiée au tableau 1 ou 5, en W/m^2

T = durée de l'impulsion telle que définie à l'annexe III.B, en secondes

T_a = durée (temps pendant lequel on prend la moyenne) telle que spécifiée au tableau 1 ou 5, en secondes. Un maximum de cinq telles impulsions est permis pendant une période égale à la durée.

   (b) Si il y a plus de cinq impulsions au cours d'une période égale à la période de temps pendant laquelle la moyenne est calculée, ou si les durées d'impulsions sont supérieures à 100 ms, la moyenne temporelle normale est calculée, sauf que la densité d'énergie livrée pendant une période de 100 ms est limitée par la formule suivante :

$$\Sigma W_P T = \frac{W_L T_a}{5} \quad .$$

Annexe V
Mesures et évaluation

A. Champs RF

L'espace autour d'une source de RF est généralement divisée en deux zones : la zone de champ rapproché et la zone de champ éloigné. De plus amples renseignements sont disponibles à l'annexe III et dans les références suivantes[15,18,21]. Dans de nombreuses inspections de sécurité, les niveaux d'exposition de la zone du champ rapproché de la source doivent être déterminés. Souvent, le champ comprend des rayonnements RF provenant de plusieurs sources. Plusieurs difficultés peuvent survenir lors de la détermination de la densité de puissance de tels champs, telles qu'indiquées aux références suivantes[15,21], et un soin particulier devra être employé lors du choix d'un instrument d'inspection. Seuls les instruments conçus pour la gamme de fréquences requise doivent être utilisés.

A.1 Caractéristiques fondamentales des appareils d'inspection

Lors de l'inspection des champs dans la région du champ rapproché d'une antenne ou à proximité d'un dispositif, les intensités du champ magnétique et du champ électrique doivent être mesurées lorsque possible. Toutefois, il se peut que les instruments de mesure des champs magnétiques à certaines fréquences ne soient pas disponibles commercialement. Dans ce cas, l'intensité du champ électrique doit être mesurée. Dans la zone de champ éloigné, il suffit de mesurer l'un des paramètres suivants : l'intensité du champ électrique, l'intensité du champ magnétique ou la densité de puissance. Plusieurs appareils de mesure sont équipés d'indicateurs étalonnés en unités de densité de puissance (par exemple, mW/cm^2), mais la quantité réelle mesurée peut être le carré de l'intensité du champ électrique ou magnétique. Il faut garder en tête que les mesures de densité de puissance dans la zone du champ rapproché ne sont pas importantes lors de l'évaluation des niveaux d'exposition. Habituellement, les paramètres du champ à mesurer sont précisés dans le manuel d'instructions.

Si la bande de fréquences d'un instrument d'inspection est inférieure à la gamme de fréquences des champs générés par les sources RF à proximité du lieu d'inspection, autant d'instruments que nécessaire doivent être utilisés afin de déterminer l'intensité des champs dans toute la gamme de fréquences.

Puisque pour la majorité des inspections de rayonnement, la(les) direction(s) du vecteur du champ électromagnétique est(sont) inconnue(s), il est préférable d'utiliser un appareil de mesure équipé d'un détecteur isotrope.

Si le seul appareil disponible est équipé d'un détecteur à un seul axe, les mesures totales du champ peuvent être accomplies en orientant successivement le détecteur suivant trois directions orthogonales et le calcul du champ résultant peut être effectué en utilisant les équations suivantes :

$$E = [E_1^2 + E_2^2 + E_3^2]^{1/2} \quad \text{(V.1)}$$

ou

$$H = [H_1^2 + H_2^2 + H_3^2]^{1/2} \quad \text{(V.2)}$$

ou

$$W = W_1 + W_2 + W_3 , \quad \text{(V.3)}$$

où les indices inférieurs *1*, *2* et *3* indiquent les mesures dans les trois directions orthogonales.

Lors de la prise de mesures d'inspection à proximité de la source RF, un appareil conçu pour fonctionner en champ rapproché doit être utilisé. Une attention particulière doit être portée afin d'éviter de perturber le champ avec l'instrument (par exemple, le boîtier de l'appareil, mais pas le détecteur de champ), ainsi qu'avec d'autres objets ou des personnes situés dans le voisinage.

Lors de l'inspection de champs modulés en amplitude ou en fréquence, en particulier les champs pulsés, la réaction de l'appareil à ces champs doit être évaluée afin de déterminer sa capacité de mesurer ces types de champs.

Un instrument d'inspection doit être étalonné par rapport à une norme tout les trois ans et son fonctionnement vérifié au moins une fois par année ou à la suite de réparations pouvant modifier son fonctionnement.

Les niveaux d'exposition, dans le voisinage des sources RF ayant des antennes à balayage (rotatives), devront possiblement être déterminés avec l'antenne stationnaire, grâce aux limitations des instruments de mesure disponibles. Les conditions d'exposition lorsque l'antenne tourne seront évaluées en employant les méthodes décrites

à l'annexe III (section C). Plus de détails au sujet des mesures des champs RF potentiellement dangereux sont présentés dans les références suivantes[15,16,18,21].

A.2 Détermination de la moyenne spatiale

Les endroits où il existe une intensité de champ maximale sont identifiés lors des inspections de champs RF. Même dans le champ éloigné d'une antenne RF, les intensités de champ peuvent varier sur la surface de section transversale (projetée) du corps humain (environ 0,6 m^2) grâce aux réflections au sol et à la diffusion d'objets dans le voisinage. Donc, dans la plupart des cas, la moyenne spatiale doit être calculée. Souvent, l'exposition se produit dans le champ rapproché à proximité d'objets réflecteurs où les champs sont non uniformes de façon spatiale. Voici une méthode pour calculer une mesure moyenne spatiale :

(a) déterminez l'endroit où le champ est maximal;

(b) établissez autour de cet endroit une grille de points située sur une surface d'environ 0,35 m (largeur) x 1,25 m (hauteur), à une distance raisonable (par exemple, 0,5 m) au-dessus du sol et perpendiculaire au sol. Ces points devraient être espacés uniformément sur la grille, et doivent inclure le point où le champ est maximal;

(c) mesurez l'intensité du champ pour chaque point de la grille;

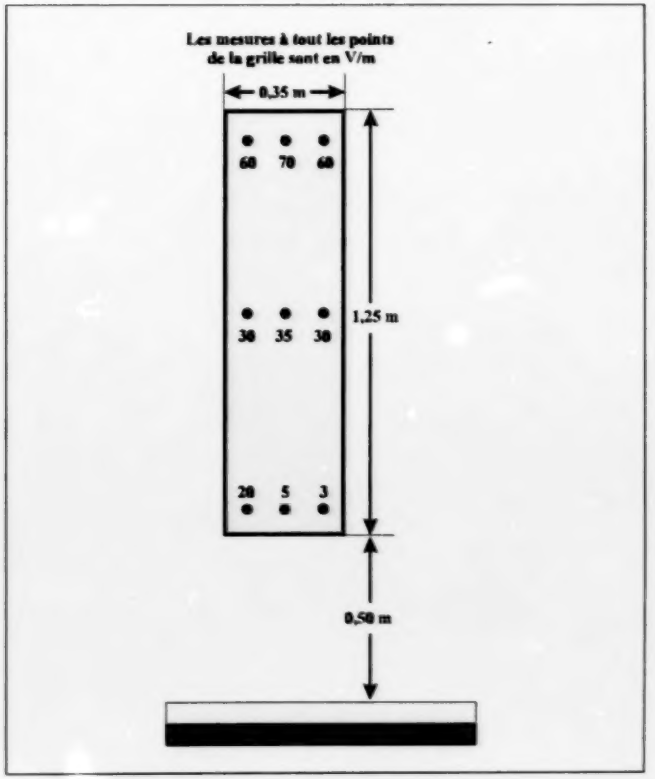
(d) calculez le champ moyen.

Remarque : La personne effectuant les mesures doit approcher la source d'exposition de loin afin d'éviter toute surexposition. Lors d'une situation incertaine, les mesures peuvent être effectuées avec la puissance de sortie de la source réduite ou, la personne peut s'approcher graduellement de la source tout en effectuant un contrôle du champ.

L'intensité moyenne du champ sur une grille de n points peut être calculée en utilisant l'équation suivante :

$$F = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^{n} F_i^2 \right]^{1/2} ,$$

où F_i est la valeur d'intensité de champ efficace mesurée au point i. Un exemple d'une grille de mesure pour la moyenne spatiale est donné à la figure V-1.



$E = (1/N\,9)\,[20^2 + 5^2 + 3^2 + 30^2 + 35^2 + 30^2 + 60^2 + 70^2 + 60^2\,]^{1/2} = 41{,}6$ V/m

Figure V-1
Exemple de grille utilisée pour mesurer un champ électrique non uniforme de 27 MHz et du calcul du champ moyen.

B. Débit d'absorption spécifique (*DAS*)

Une évaluation minutieuse et bien documentée des *DAS* doit être faite afin d'assurer la conformité aux exigences des articles 2.1.2 et 2.2.2. Il ne faut pas oublier que le champ interne dans le corps humain, et donc le *DAS*, ne sont pas apparentés au champ externe de façon simple.

Le détermination du *DAS* pour l'exposition des humains au champ rapproché est difficile et peut uniquement être accompli en utilisant des modèles simulés du corps humain sous des conditions de laboratoire. Deux types sont disponibles: les méthodes calculées et les méthodes de mesurées. Afin d'être valides, ces méthodes doivent être viables et raisonnablement précises.

Il existe deux approches pour les méthodes calculées[22]. Une implique l'utilisation d'une technique analytique afin de calculer la distribution de l'énergie absorbée dans des formes de tissus simplifiées telles que des morceaux planes, des cylindres et des sphéroïdes. L'autre utilise une formulation numérique afin d'analyser le couplage de l'énergie RF aux corps humains. Des exemples de méthodes de calculs numériques pour la détermination du *DAS* sont la méthode d'impédance, la méthode des moments et la technique des différences finies dans le domaine temporel (finite-difference time domain - FDTD). Une représentation détaillée de la géométrie complexe et de la composition du corps humain est disponible grâce à l'utilisation de données de tomographie par ordinateur et des techniques d'imagerie par résonance magnétique. Des progrès récents dans le domaine des ordinateurs (mémoire et vitesse) et dans la technique des différences finies du domaine temps ont menés au développement d'un outil pratique pour l'analyse du *DAS* dans la tête, de différents téléphones cellulaires[23,24,25]. Cet outil numérique permet un modelage détaillé des éléments anatomiques humains non homogènes pertinents, tels que ceux dans la tête, qui peuvent être difficiles à modeler de façon expérimentale. Des logiciels pour calculer numériquement les *DAS* locaux et régionaux sont disponibles commercialement, mais lors de la rédaction de ce code, il n'y avait pas assez d'information pour discuter de l'exactitude des calculs.

Des méthodes de mesure ont été développées afin de déterminer le *DAS* dans des animaux de laboratoire et dans des modèles composés de matériaux synthétiques équivalent aux tissus[26,27]. De tels modèles simulés sont nommés fantômes. Les méthodes mesurées sont utilisées afin de vérifier l'exactitude des calculs numériques. Il existe deux méthodes de base pour mesurer le *DAS*. La première

méthode consiste en l'utilisation d'une sonde de température pour mesurer les changements de températures causés par la chaleur produite par l'absorption de l'énergie RF, et ensuite de calculer le *DAS* à partir de[15]

$$DAS = c \frac{\Delta T}{\Delta t} ,$$

où ΔT est l'augmentation de température (en °C) dans l'intervalle de temps Δt (en secondes), et c est la chaleur spécifique du tissus (ou matériel fantôme), en J/kg°C. Les calculs des *DAS* à partir d'une hausse en température peut uniquement être accomplie si la hausse de température est linéaire par rapport au temps. Cette méthode est bonne pour mesurer les *DAS* locaux lorsque les niveaux d'exposition (champs rayonnants) sont assez intenses que la hausse de température n'est pas influencée significativement par des transferts de chaleur à l'intérieur et à l'extérieur du corps.

La deuxième méthode de base pour la détermination du *DAS* est de mesurer le champ électrique dans le corps à l'aide de sondes implantables et ensuite, de calculer le *DAS* à partir de

$$DAS = \sigma E^2/p ,$$

où σ est la conductivité du tissus (S/m), E est la valeur efficace de l'intensité du champ électrique induit dans les tissus (V/m) et p est la masse volumique (kg/m^3). Cette méthode convient uniquement pour mesurer le *DAS* à des points spécifiques dans le corps ainsi que pour des valeurs de *DAS* basses où l'énergie absorbée est insuffisante pour causer un changement détectable dans la température. Les instruments utilisés pour accomplir ces mesures du *DAS* comprennent habituellement une sonde de champ électrique implantable, un fantôme et un système de positionnement de la sonde informatisé[28,29]. Ces instruments viennent tout récemment de devenir disponibles commercialement et ont été utilisés pour vérifier la conformité d'émetteurs portatifs.

Plus de renseignements au sujet des diverses méthodes de détermination du *DAS* sont donnés dans les références suivantes[15,21,30-34]. De nouvelles méthodes peuvent être disponibles suite à la publication de ce document.

C. Courants de contact et courants induits

C.1 Courant de contact

Un champ RF induit une charge électrique sur des objets conducteurs (métalliques) non mis à terre ou incorrectement mis à terre, tels que les voitures, camions, autobus, grues et clôtures. Lorsqu'une personne touche un de ces objets, un courant RF circule de la personne au sol. L'intensité du courant dépend de l'objet (taille, forme), de la fréquence et de l'intensité du champ ainsi que l'impédance de la personne. L'impédance dépend de la taille de la personne, de son poids et de la composition de son corps (rapport entre la masse maigre et la masse adipeuse), du type de contact (superficie de contact, c'est-à-dire si la personne touche avec les doigts ou si elle prend l'objet en main), et du type de chaussures. L'impédance varie aussi avec la fréquence du champ RF.

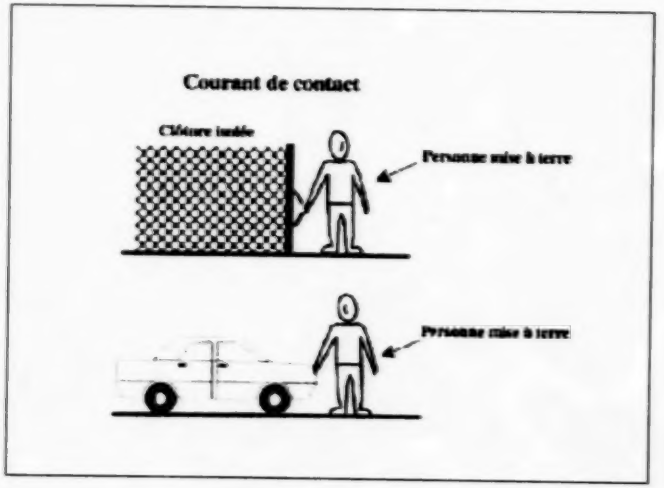


Figure V-2
Situations types où les courants peuvent être perçus par des personnes touchant des objets conducteurs non mis à la terre ou incorrectement mis à la terre

Le courant de contact circulant dans une personne est perçu à un certain niveau; à un niveau plus élevé, il y a douleur et à un niveau encore plus élevé, il peut provoquer une lésion (par exemple, brûlure localisée, tétanie respiratoire, effets cardiaques). Pour les fréquences inférieures à environ 100 kHz, la perception consiste en une sensation de fourmillement dans les doigts ou dans la main qui ont touché à l'objet. Pour des fréquences plus élevées, il y a sensation de chaleur. Les seuils de perception et de douleur correspondant à diverses conditions mesurées et plus de détails à ce sujet sont donnés dans les références suivantes[35, 36].

Les courants dont l'intensité est inférieure aux limites indiquées à l'article 2.1.3 (tableau 3) pour les travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes ne causeront pas de douleur, mais ils seront perceptibles. Étant donné que les femmes sont plus sensibles[35,36], les limites ont été fixées à partir du percentile le plus bas (personnes les plus sensibles). Les courants dont l'intensité est inférieure aux limites indiquées à l'article 2.2.3 (tableau 7) ne seront pas perçus. Dans ce cas, une extrapolation des données a été utilisée relative aux enfants[35, 36].

Les courants de contact sont évalués en utilisant un circuit électronique qui représente l'impédance d'un corps humain moyen en contact de prise avec un objet conducteur isolé, alimenté en courant par un champ RF. Plus d'information au sujet de l'impédance humaine équivalente peut être trouvée dans les références suivantes[37, 38].

Une évaluation de la conformité des courants de contact avec les limites (tableaux 3 et 7) doit être accomplie avec les instruments appropriés. Des appareils de mesure du courant de contact sont disponibles commercialement.

C.2 Courant induit

Même si une personne ne touche pas à un objet métallique, des courants RF induits dans le corps par des champs RF peuvent circuler à travers le corps au sol.

Un courant induit à travers les deux pieds peut être mesuré en utilisant une sonde à courant cramponnée, ou une plate-forme à profile bas composée de deux plaques parallèles conductibles isolées l'une de l'autre et situées une sur l'autre. Si cette dernière est utilisée, la plate-forme est placée sur la surface où la personne est debout, et

une personne ou une antenne équivalente est placée sur la plaque supérieure de la plate-forme. Une chute de tension admissible sur une résistance à basse inductance placée entre les plaques fournit une mesure du courant induit.

Une évaluation de la conformité des courants induits aux limites doit être accomplie avec les instruments appropriés. Une personne, ou une antenne équivalente devrait rester debout sur la plate-forme de l'appareil de mesure du courant induit. Des appareils de mesure du courant induit et des antenne équivalentes aux humains sont disponibles commercialement.

Annexe VI
Rayonnement X

En général, des systèmes à haute puissance employant des tubes à transmission de haute tension ou d'autres tubes à grande puissance (supérieure à approximativement 20 kV) peuvent potentiellement émettre des rayonnements X. Comme les dispositifs RF de haute puissance nécessitent souvent des tensions de fonctionnement élevées, il semble opportun d'inclure dans ce Code de sécurité quelques détails importants au sujet de la sécurité en présence de rayonnements X. Lorsque les données du fabriquant, ou autres observations, indiquent qu'un dispositif pourrait émettre des rayonnements X, il est recommandé de respecter les méthodes et les limites suivantes:

(a) Le composant produisant la puissance RF doit être inspecté afin de déterminer si les blindages à rayonnements X spécifiés sont en place.

(b) Lorsque les blindages sont en place sur le dispositif, une inspection doit être effectuée afin d'assurer que l'exposition aux rayonnements X ne dépasse pas 0,5 mR (milliroentgen) par heure à 5 cm de n'importe quelle surface extérieure accessible du dispositif (0,5 mR = 129 nC/kg). L'inspection doit être effectuée par des individus qualifiés en matière de mesure de l'intensité des rayonnements X ainsi que dans l'interprétation des résultat.

(c) Les instruments d'inspection utilisés pour mesurer l'intensité des rayonnements X ne doivent pas être influencés par les rayonnements RF. Voir les références suivantes[39-41].

(d) Les méthodes, rapports et registres de l'inspection doivent être semblables à ceux utilisés lors des inspections de rayonnements spécifiés aux articles 6.1 et 6.2.

Annexe VII
Raison d'être des changements à la version 1991 du Code de sécurité 6

1. Émetteurs portatifs et disposition d'exemption

Ces dispositifs sont habituellement utilisés à proximité du corps humain (à une distance d'environ 2,5 cm), donc des mesures directes des champs électriques et magnétiques ne fournissent pas un niveau d'exposition fiable. Dans la version 1991 du Code de sécurité 6, les émetteurs portatifs fonctionnant à des niveaux inférieurs à 1 GHz et ayant une puissance de rayonnement de 7 W n'étaient pas requis à conformer aux exigences du *DAS* spécifiés aux articles 2.1 et 2.2, peut importe la distance.

Récemment, une étude scientifique[42] a démontré que certains dispositifs (par exemple, les téléphones cellulaires), qui étaient exemptés auparavant, produisaient des expositions supérieures aux limites de *DAS* spécifiées à l'article 2.2. Donc, la disposition d'exemption mentionnée dans le Code de sécurité précédent a été enlevée.

2. Détermination de la moyenne temporelle

Le facteur temps de 0,1 h (6 min) peut être considéré comme une constante de temps thermique. Une durée d'exposition d'au moins 0,1 h permettra aux mécanismes, tels que la conduction thermique, la circulation du sang et la thermorégulation, d'influencer une hausse en température dans une région du corps donnée[43].

À des fréquences supérieures à approximativement 15 000 MHz, la période de temps pendant laquelle l'exposition moyenne est calculée doit être réduite afin d'éviter des brûlures à la peau. Lors d'une augmentation de fréquence, la puissance provenant des champs RF est déposée dans une couche de peau et de tissus sous-cutané devenant de plus en plus mince. Sous les nouvelles limites, le niveau maximal d'exposition admissibles à 300 000 MHz (longueur d'onde de 1 mm), correspondent aux limites spécifiées aux mêmes fréquences dans les

normes du laser décrites par ANSI[44], en égard à la proposition de CENELEC[45]. Puisqu'à des fréquences supérieures à 15 000 MHz toute la puissance est déposée superficiellement dans le corps humain, les considérations utilisées lors de la dérivation de limites d'exposition aux fréquences plus basses (voir article 2) sont moins significatives. En même temps, les brûlures de la peau deviennent les facteurs de limitation pour les expositions de type professionnel ou autre.

La période de temps d'une durée de 0,1 h pendant laquelle l'exposition moyenne est calculée n'est pas valide dans le cas des courants induits et de contact à des fréquences inférieures à approximativement 100 kHz, où il y a possibilité de choc RF ou de brûlures. Pour déterminer s'il y a conformité aux limites spécifiées aux articles 2.1.3 et 2.2.3, les courants devraient être mesurés avec un instrument pouvant calculer une moyenne en 1 seconde ou moins.

3. Limite de l'intensité maximale pour un champ pulsé

Une limite de 100 kV/m est recommandé pour un champ électrique ayant des impulsions simples ou multiples afin d'éviter la dégradation dans l'air et le rejet d'étincelles. Des clauses additionnelles quant aux champs RF pulsés, semblables à celles spécifiées dans IEEE Std C95.1-1991 - 1999 Edition, ont été ajoutées à l'annexe III. La raison d'être de ces dispositions porte sur les effets auditifs ainsi que la perte de connaissance provoqués par alimentation d'énergie, chez les rats. Le but de cette limite est de réduire l'absorption d'énergie pour chaque impulsion à un niveau égal à 20% de l'absorption d'énergie admissible sous des conditions d'exposition à des ondes continues.

4. Limites de courant de contact

Les limites révisées dans ce Code fournissent une protection de la santé et de la sécurité identique aux limites précédentes. Les différences dans les valeurs numériques reflètent une différence de protocole en ce qui concerne les mesures pour établir la conformité au code. Ces limites révisées sont identiques à celles spécifiées dans les normes IEEE Std C95.1-1991 - 1999 Edition. La sélection d'une formulation spécifique des dispositions et des méthodes d'essai dans les normes ANSI a mené au développement d'instruments com-

merciaux convenables à l'évaluation de la conformité. Les circuits recommandés à l'annexe IV partie C du Code de sécurité 6 précédent n'ont pas été fabriqués commercialement, donc, ils ont été supprimés de ce document. Plutôt, les dispositions et les méthodes d'essai précisées dans IEEE Std C95.1-1991 – 1999 Edition sont recommandées afin de faciliter l'évaluation de la conformité.

5. Limites de courant induit

Les courants qui sont induits dans le corps par des champs RF peuvent circuler à travers le corps au sol. Ces limites ont été présentées afin de minimiser les chocs et brûlures causés par une exposition à un champ RF, même si les mesures des champs sont dans les limites spécifiées aux articles 2.1.1 et 2.2.1[8].

La perception des courants à des fréquences inférieurs à 70-100 kHz est très différente de celle à des fréquences plus hautes. À des fréquences inférieures à approximativement 100 kHz, le courant est perçu comme une sensation de picotement ou de fourmillement, tandis qu'à des fréquences plus élevées, la perception sensorielle en est une de chaleur[46]. Donc, il est suggéré que la durée, pour le calcul de la moyenne temporelle des courants, soit différente pour les limites de courant induit et de courant de contact spécifiées aux tableaux 3 et 7.

6. Limites *DAS*

Dans la version 1991 du Code de sécurité 6, article 2.1.2, les limites du *DAS* à la surface du corps et dans les membres (moyenne sur 10 g de tissu) était 25 W/kg. En réponse aux études scientifiques récentes[4,5], la limite a été réduite à 20 W/kg. Également, dans la version 1991du Code de sécurité 6, les limites de densité de puissance pour le grand public ont été fixées à un cinquième des valeurs pour les travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes. À titre d'uniformité, les limites de *DAS* pour le grand public (article 2.2.2) ont été ajustées à un cinquième des valeurs spécifiées à l'article 2.1.2.

Les limites de *DAS* pour l'oeil spécifiées dans la version 1991 du Code de sécurité 6, étaient basées sur des données signalées par Kues *et al.*[47]. Ce rapport décrivait qu'une exposition oculaire, pour des primates anesthésiés, à des champs pulsés de 100 W/m^2 à 2,45 GHz (*DAS* = 2,6 W/kg) et des champs d'onde continue de 200 W/m^2 (*DAS* = 6,3 W/kg) pour une durée de 4 h par jour provoquait des

dommages aux cellules endothéliales des cornées. Quoique les changements semblait réversibles, une perte de cellules endothéliales a été signalé. À la suite d'une enquête approfondie, Kues *et al.*[48] ont montré que des micro-ondes pulsées de 2,45 GHz, administrées suivant un traitement préalable de médicaments ophtalmiques, pouvait produire des effets oculaires à un niveau de *DAS* significativement plus bas. Cependant, Kamimura *et al.*[49] ont signalé qu'une exposition oculaire de primates anesthésiés à un champ d'onde continue de 300 W/m^2 à 2,45 GHz ne provoquait pas d'anomalies oculaires. Puisque ces études n'ont pas été répétées de manière indépendante, et qu'il n'y a pas eu d'études additionnelles dans ce domaine, il est considéré injustifié, du point de vue scientifique, de continuer à imposer des limites de *DAS* pour l'oeil en se basant sur de telles informations limitées. Cependant, les auteurs de ce document considèrent que ces conclusions limitées sont suffisantes pour encourager une réduction de l'exposition oculaire lorsque possible. Cette recommandation restera valide jusqu'à ce qu'il y ait suffisamment d'information scientifique disponible afin d'évaluer avec précision les effets d'exposition RF de l'oeil sur la santé.

7. Limites de l'intensité du champ

Dans les tableaux 1 et 4, le coefficient utilisé pour déterminer les limites maximales d'intensité du champ entre 300 MHz et 1500 MHz ont été légèrement ajustées afin de satisfaire l'équation III.5.

8. Délimitation de basse fréquence de 3-kHz

La portion basse fréquence de ce Code a été prolongée à 3 kHz afin d'englober au complet la bande d'ondes myriamétriques. Au moment de rédaction, l'information au sujet des effets sur la santé des champs électromagnétiques à fréquences inférieures à 3 kHz était insuffisante pour établir des limites d'exposition.

La raison d'être des parties ou articles de ce Code qui demeurent inchangés par rapport à la version 1991 est discutée en référence[1].

Annexe VIII
Définitions

Agent de sécurité – Une personne responsable d'assurer la sécurité au travail dans un environnement RF.

Antenne – Dispositif utilisé pour émettre ou recevoir des radiofréquences (RF).

Avertisseur visible – Un affichage, tel qu'une lumière clignotante ou des enseignes, pour avertir les gens qu'il y a un dispositif RF d'allumé.

Caractère d'onde plane – La nature de la distribution du champ angulaire dans la région du champ éloigné d'une antenne source, où le vecteur du champ électrique est perpendiculaire au vecteur du champ magnétique, et ces derniers sont perpendiculaires à la direction de propagation.

Cavité – L'intérieur d'une structure métallique qui limite ou confine un champ de radiofréquences.

Champ électrique – La région entourant une charge électrique, où l'ampleur et la direction de la force sur une charge d'épreuve hypothétique est définie à n'importe quel point.

Champ magnétique – Une région de l'espace entourant une charge mobile (par exemple, dans un conducteur) définie à n'importe quel point par la force qui serait ressentie par une autre charge mobile hypothétique. Un champ magnétique exerce une force sur des particules chargées uniquement si elles sont en mouvement, et des particules chargées produisent un champ magnétique uniquement lorsqu'elles sont en mouvement.

Courant de contact – Courant circulant entre un objet conducteur (métallique) isolé et alimenté en courant, et le sol, dans un circuit électrique ayant une impédance équivalente à celle du corps humain.

Courant induit – Courant induit dans un corps humain exposé à des champs RF.

DAS moyen de l'organe de l'oeil – Le débit d'absorption spécifique (*DAS*) moyen pour l'oeil au complet.

Débit d'absorption spécifique (*DAS*) – Le débit d'absorption de l'énergie de radiofréquence dans les tissus par unité de masse. Quantitativement, c'est la dérivée par rapport au temps du rapport de l'accroissement de l'énergie (dW) absorbée par l'accroissement d'une masse (dm) contenue dans un élément de volume (dV) d'une densité de masse donnée (p).

$$DAS = \frac{d}{dt}\left[\frac{dW}{dm}\right] = \frac{d}{dt}\left[\frac{dW}{\rho dV}\right]$$

DAS est exprimé en watts par kilogramme (W/kg). Par ailleurs,

$$DAS = \sigma E^2/\rho$$

où σ est la conductivité du tissu (S/m), E est l'intensité efficace du champ électrique induite dans le tissu (V/m) et ρ est la densité de masse (kg/m^3).

Densité de puissance – Débit de l'énergie électromagnétique par unité de surface, habituellement exprimé en W/m^2 ou mW/cm^2 ou $\mu W/cm^2$.

Dispositif RF – Un dispositif produisant et/ou utilisant de l'énergie RF.

Effet auditif – La perception humaine d'impulsions individuelles provenant de champs RF sous la forme de clics, de grésillements ou de bourdonnements audibles, dépendant du régime d'impulsions et de l'intensité du champ[3].

Émetteur portatif – Un dispositif mobile qui rayonne des ondes électromagnétiques ayant pour but la communication, par exemple, les téléphones cellulaires et les walkie-talkies.

Émetteur-récepteur – Une combinaison d'un émetteur et d'un récepteur dans un seul boîtier, avec certains éléments étant utilisés par les deux composants.

Enclenchement – Un élément ou un ensemble d'éléments qui, une fois actionnés, empêchent la génération de puissance provenant d'une source de RF ou de micro-ondes, telle qu'un magnétron dans un four à micro-ondes ou un émetteur de RF.

Extrémités – Membres d'une personne incluant le haut des bras et les cuisses.

Fréquence – Le nombre de cycles sinusoïdaux créés par des ondes électromagnétiques en une seconde; habituellement exprimé en hertz (Hz).

Gain d'antenne – L'augmentation dans la puissance émise ou reçue par une antenne directionnelle lorsque comparée à une antenne de référence, habituellement une antenne isotrope idéale. Le gain est un rapport des puissances exprimé soit en décibels (dB) ou par un nombre pur.

Grand public – Toute personne qui n'est pas engagée comme travailleur exposé à des champs RF et à des micro-ondes ou travaillant dans des milieux contrôlés (régions). Ces personnes incluent les femmes enceintes, les personnes âgées, les enfants, les malades et les infirmes chroniques.

Imagerie par résonance magnétique – Une méthode pour obtenir des images de l'anatomie interne en se basant sur l'utilisation de signaux de résonance magnétique nucléaire (RMN). La méthode RMN est fondée sur l'alignement partiel des spins nucléaires en utilisant des champs magnétiques stationnaires puissants, qui activent ces spins avec un champ RF oscillant aux fréquences de précession de moments magnétiques nucléaires, pouvant déceler le signal induit à cette fréquence.

Inspection RF – Une évaluation des niveaux de rayonnement RF réels ou potentiels dans une région quelconque, en particulier à proximité des dispositifs RF, et une évaluation des courants induits et de contact.

Intensité du champ – L'ampleur du champ électrique ou magnétique, habituellement une valeur efficace.

Interférence électromagnétique – Dégradation de la performance d'un dispositif, d'un morceau d'équipement, ou d'un système résultant d'une perturbation électromagnétique.

Longueur d'onde – La distance parcourue par une onde propagée en un cycle d'oscillation.

Micro-onde – Une onde radioélectrique ayant une fréquence entre 1 GHz et 300 GHz ou une longueur d'onde entre 30 cm et 1 mm.

Milieu contrôlé (région) – Un endroit où il y potentiel d'exposition de personnes informées de la possibilité d'exposition associée au travail, ainsi que d'autres personnes conscientes de la possibilité d'exposition, ou par exposition imprévue due au passage transitoire à travers des régions où il a été démontré par analyse que les niveaux d'exposition peuvent dépasser ceux indiqués au tableau 5, mais inférieurs à ceux au tableau 1 et où les courants induits peuvent dépasser les valeurs indiquées au tableau 7, mais ne dépassant pas les valeurs spécifiées au tableau 3.

Mise à la terre – La terre ou une surface métallique placée en contact avec la terre, ou reliée à la terre par un conducteur.

Onde entretenue (OE) – Des oscillations successives identiques sous un état stabilisé (une onde électromagnétique non modulée).

Onde modulée (rayonnement) – Une onde électromagnétique modifiée par des impulsions ou en variant son amplitude, sa fréquence ou sa phase. Une telle onde est dite, respectivement, pulsée et modulée en amplitude, en fréquence ou en phase.

Personne qualifiée – Un individu qui, grâce à ses connaissances, sa formation et son expérience, a la capacité d'exécuter des inspections de RF et de micro-ondes et/ou peut réparer et entretenir des dispositifs RF et à micro-ondes.

Personnes exposées dans une ambiance professionnelle – Travailleurs exposés aux champs RF et aux micro-ondes pendant leur travail habituel.

Propriétaire – Personne, organisation ou institution reconnue comme ayant la responsabilité administrative d'un dispositif émettant des RF.

Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) – Ce terme s'applique aux antennes directionnelles. La puissance nécessaire émise par une antenne isotrope afin de produire la même densité de puissance à un point donné le long de l'axe directionnel de l'antenne. Mathématiquement, PIRE est le gain d'une antenne d'émission multiplié par la puissance nette livrée à l'antenne par l'émetteur qui y est rattaché.

Radiofréquence – La fréquence dans l'article du spectre électromagnétique situé entre 3 kHz et 300 GHz.

Rapport cyclique – Le rapport entre la durée de l'impulsion (c'est-à-dire, le temps séparant le départ de deux impulsions successives) et la période de répétition d'un train d'impulsions périodiques. Mathématiquement, le rapport cyclique équivaut au produit de la durée de l'impulsion multiplié par la fréquence de la répétition des impulsions.

Rayonnement (électromagnétique) – L'émission ou le transfert d'énergie dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétiques.

Rayonnement électromagnétique – La propagation de champs électriques et magnétiques, variant avec le temps dans l'espace à la vitesse de la lumière.

Rayonnement de fuite – Tout rayonnement non intentionnel ou accidentel émis par un dispositif hors de sa surface extérieure.

Rayonnement X – Rayonnement électromagnétique ayant une longueur d'onde dans la gamme de 0,0001 à moins de 1 nm.

Région rayonnante de rayonnement rapproché – La région entre le champ rapproché réactif et le champ éloigné réactif, où le champ de rayonnement domine sur le champ réactif, mais n'a pas de caractère d'onde plane.

Région réactive de rayonnement rapproché – La région la plus rapprochée à une antenne ou une autre structure rayonnante et qui contient la plupart, ou presque toute l'énergie accumulée.

Sécurité – L'absence d'effets de santé nuisibles causés par l'exposition aux RF.

SI – Un acronyme du Système international d'unités.

Tomographie par ordinateur – Une méthode de visualisation pour le diagnostic dans laquelle l'information est reconstruite numériquement à partir de données de transmission de rayonnements X obtenues par balayage de différentes directions d'une région anatomique.

Travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes – Personnes exposées aux champs RF et aux micro-ondes lors de leur travail quotidien (par exemple, ceux qui travaillent rapproché d'un dispositif RF, mais ne sont pas nécessairement des travailleurs sous RF).

Travailleur sous RF – Un(e) employé(e) ou une personne (y compris une femme enceinte) qui, grâce à ses connaissances, de sa formation et de son expérience avec les dispositifs RF, est qualifié(e) pour travailler avec ces dispositifs de façon convenable et sécuritaire à l'égard de l'exposition RF.

Utilisateur responsable – Une personne autorisée à mettre en marche un dispositif RF de façon convenable et sécuritaire à l'égard du rayonnement RF.

Valeur efficace – Mathématiquement, c'est la racine carrée de la moyenne du carré du champ ou du courant instantané calculé pendant une période.

Zone à accès interdit – Zone dans laquelle personne ne peut pénétrer.

Zone de séjour limité – Zone dans laquelle l'accès est autorisé seulement aux travailleurs exposés aux RF et aux micro-ondes pour une durée limitée.

Zone du champ éloigné – L'espace passé une limite imaginaire autour de l'antenne. La limite identifie le début, où la distribution du champ angulaire est essentiellement indépendante de la distance de l'antenne. Dans cette zone, le champ à surtout un caractère d'onde plane.

Zone du champ rapproché – Un volume d'espace généralement rapproché de l'antenne ou d'une autre structure rayonnante, où les champs électriques et magnétiques n'ont pas foncièrement un caractère d'onde plane, mais varient considérablement d'un point à l'autre. La zone du champ rapproché est ensuite subdivisée en une *région réactive de rayonnement rapproché* et une *région rayonnante de rayonnement rapproché*.

Zone non contrôlée – Toute zone qui est ni une zone de séjour limité, ni une zone de séjour interdit.

Bibliographie

1. M.A. Stuchly. Proposed Revision of the Canadian Recommandations on Radiofrequency – Exposure Protection, Health Physics, Vol. 53, pp. 649-665, 1987.
2. M.A. Stuchly. Review of Current Literature on Biological Effects of Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 300 GHz. Un compte rendu fait par un sous-traitant présenté à Santé Canada en Octobre 1994 (disponible au prix coûtant du Bureau de la radioprotection, Santé Canada, Ottawa, Ontario K1A 1C1).
3. Organisation mondiale de la Santé. Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic Fields (300 Hz – 300 GHz), 1993 (disponible auprès de: OMS, Genève, ou l'Association canadienne de la santé publique, Ottawa, Ontario).
4. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Guidelines: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics, Vol. 74, pp. 494-522, 1998.
5. IEEE Std C95.1-1991 – 1999 Edition. Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. (Disponible auprès de : Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Service Center, 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854-1331, U.S.A.)
6. M.H. Repacholi. Low-Level Exposure to Radiofrequency Fields: Health Effects and Research Needs. Bioelectromagnetics, Vol. 19, pp. 1-19, 1998.
7. J.-Y. Chen and O.P. Gandhi. Thermal Implications of High *SARs* in the Body Extremities at the ANSI-Recommended MF-VHF Safety Levels, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. 35, pp. 435-441, 1988.
8. S. Tofani, G. d'Amore, G. Fiandino, A. Benedetto and O.P. Gandhi. Induced Foot-Current in Humans Exposed to VHF Radio-Frequency EM Fields, IEEE Trans. Electromag. Compat., Vol. EMC-37, pp. 96-99, 1995.
9. O.P. Gandhi. ANSI Radiofrequency Safety Guide: Its Rationale, Some Problems, and Suggested Improvements. Dans « Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy ». Ed. O.P. Gandhi, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, pp. 28-46, 1990.

10. Bureau international du travail. Collection n° 71 de la Sécurité et de la Santé au travail : Sécurité lors de l'utilisation des appareils de chauffage et de thermoscellage diélectriques à radiofréquences : guide pratique, 1988 (disponible auprès de : Bureau des publications, BIT, CH-1211 Genève 22, Suisse).
11. H.I. Bassen. RF Interference (RFI) of Medical Devices by Mobile Communications Transmitters. In Mobile Communications Safety. Eds. N. Kuster, Q. Balzano and J.C. Lin, Chapman & Hall, London, pp. 65-94, 1997.
12. Committee on Man and Radiation (COMAR) Reports. Radiofrequency Interference with Medical Devices: A Technical Information Statement. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol. 17, pp. 111-114, 1998.
13. Fours à micro-ondes, partie III, Annexe II, Reglèment sur les dispositifs émettant des radiations, chapitre 1370, codification des reglèments du Canada, 1978.
14. Institute of Makers of Explosive. Safety Library Publication No. 20: Safety Guide for the Prevention of Radiofrequency Radiation Hazards in the Use of Commercial Electric Detonators (Blasting Caps), December 1988 (disponible auprès de : Institute of Makers of Explosive, 1120 Nineteenth Street, N.W., Suite 310, Washington, DC 20036-3605).
15. ANSI C95.3-1991. American National Standard. Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave.
16. Industrie Canada. Lignes directrices pour la mesure des champs de radiofréquences de la gamme 10 kHz – 300 GHz, janvier 1994 (disponible au prix coûtant de : Industrie Canada, Ottawa, Ontario K1A 0C8).
17. Les radiofréquences et la santé, partie I, Hygiène du milieu, énoncé des critères, Direction générale de la protection de la santé, Santé nationale et Bien-être social, rapport n° 77-EHD-13, 1977. Disponible par l'entremise de prêt inter-bibliothécaire en vous adressant à la bibliothèque du Bureau de la radioprotection, 775 chemin Brookfield, Ottawa, K1A 1C1, tél. (613) 941-8911.
18. Australian Standard 2772.2 – 1988. Radiofrequency Radiation, Part 2. Principles and Methods of Measurements – 300 kHz to 100 GHz, Standards Association of Australia. Standards House, 80 Arthur Street, North Sydney, N.S.W.
19. W.L. Stutzman and G.A. Thiele. Antenna Theory and Design, 1998 (disponible auprès de : John Wiley and Sons, New York).

20. D.H. Shinn. Avoidance of Radiation Hazards from Microwave Antennas, The Marconi Review, Vol. XXXIX, No. 201, pp. 61-80, 1976.

21. National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP Report No. 19: A Practical Guide to the Determination of Human Exposure to Radiofrequency Fields, 1993 (disponible auprès de : NCRP Publications, Bethesda, Maryland 20814, Tel. 1-800-229-2652).

22. J.C. Lin and O.P. Gandhi. Computational Methods for Predicting Field Intensity. Dans « CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields ». Eds. C. Polk and E. Postow, Second Edition, CRC Press, Boca Raton, pp. 337-402, 1996.

23. P.J. Dimbylow and S.M. Mann. *SAR* Calculations in an Anatomically Realistic Model of the Head for Mobile Communication Transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz, Phys. Med. Biol., Vol. 39, pp. 1537-1553, 1994.

24. O.P. Gandhi. Some Numerical Methods for Dosimetry: Extremely Low Frequencies to Microwave Frequencies, Radio Science, Vol. 30, pp. 161-177, 1995.

25. M. A. Jensen and Y. Rahmat-Samil. EM Interaction of Handset Antennas and a Human in Personal Communications, Proc. IEEE, Vol. 83, No. 1, pp. 7-17, 1995.

26. M.A. Stuchly and S.S. Stuchly. Measurements of Electromagnetic Fields in Biomedical Applications, CRC Crit. Rev. Biomed. Eng., Vol. 14, pp. 241-288, 1986.

27. M.A. Stuchly and S.S. Stuchly. Experimental Radio and Microwave Dosimetry. Dans « CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields ». Eds. C. Polk and E. Postow, Second Edition, CRC Press, Boca Raton, pp. 295-336, 1996.

28. Q. Balzano, O. Garay and T. J. Manning, Jr. Electromagnetic Energy Exposure of Simulated Users of Portable Cellular Telephones, IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. VT-44, pp. 390-403, 1995.

29. T. Schmid, O. Egger and N. Kuster. Automated E-Field Scanning System for Dosimetric Assessments, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 44, No. 1, pp. 105-113, 1996.

30. S.S. Stuchly, A. Kraszewski, M.A. Stuchly, G. Hartsgrove and D. Adamski. Energy Deposition in a Model of Man in the Near-Field, Bioelectromagnetics, Vol. 6, pp. 115-129, 1985.

31. M.A. Stuchly, A. Krazewski, and S.S. Stuchly. Exposure of Human Models in the Near- and Far-Field: A Comparison, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. BME-32, pp. 609-616, 1985.

32. S.S. Stuchly, M.A. Stuchly, A. Kraszewski and G. Hartsgrove. Energy Deposition in a Model of Man: Frequency Effects, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol, BME-33, pp. 702-711, 1986.

33. M.A. Stuchly, A. Kraszewski, S.S. Stuchly, G. Hartsgrove and R.J. Spiegel. RF Energy Deposition in a Heterogeneous Model of Man: Near-Field Exposures, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. BME-34, 1987.

34. Q. Balzano, J.A. Bergeron, J. Cohen, J.M. Osepchuck, R.C. Petersen and L.M. Roszyk. Measurement of Equivalent Power Density and RF Energy Deposition in the Immediate Vicinity of a 24-GHz Traffic Radar Antenna, IEEE Trans. Electromag. Compat., Vol. EMC-37, pp. 183-191, 1995.

35. I. Chatterjee, D. Wu, and O.P. Gandhi. Human Body Impedance and Threshold Currents for Perception and Pain for Contact Hazard Analysis in the VLF-MF Band, IEEE Trans. Biomed., Eng., Vol. BME-33, pp. 486-494, 1986.

36. O.P. Gandhi. Basis for RFR – Safety Standards in the 10 kHz – 50 MHz Region. Report No. USAFSAM – TR – 87, 1987 (disponible auprès de : Aerospace Medical Division, Brooks Air Force Base, TX 78235-5301).

37. O.P. Gandhi, I. Chatterjee, D. Wu, J.A. D'Andrea and K. Sakamoto. Very Low Frequency (VLF) Hazard Study, Report No. USAFSAM – TR – 84, 1984 (disponible auprès de : Aerospace Medical Division, Brooks Air Force Base, TX 78235-5301).

38. M.A. Stuchly, J. Kozlowski, S. Symons and D.W. Lecuyer. Measurements of Contact Currents in Radiofrequency Fields, Health Physics, Vol. 60, pp. 547-557, 1991.

39. G.F. Knoll. Radiation Detection and Instrumentation, 1979 (disponible auprès de : John Wiley and Sons, New York).

40. H.E. Johns and J.R. Cunningham. Physics of Radiology, 1974 (disponible auprès de : Charles C. Thomas, Springfield, Illinois).

41. Nations Unies. Rayonnements ionisants: sources et effets biologiques, rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants 1982 (disponible auprès de : Nations Unies, New York).

42. O.P. Gandhi, G. Lazzi and C.M. Furse. Electromagnetic Absorption in the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz, IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. 44, pp. 1884-1897, 1996.

43. J.H. Bernhardt. Non-ionizing Radiation Safety: Radiofrequency Radiation, Electric and Magnetic Fields, Phys. Med. Biol., Vol. 37, pp. 807-844, 1992.

44. ANSI Z136.1-1993. American National Standard. American National Standard for Safe Use of Lasers, Section 8.4, p. 34.

45. European Prestandard ENV 50166-2. Human Exposure to Electromagnetic Fields: High Frequencies (10 kHz to 300 GHz), CENELEC, January 1995 (disponible auprès de : CENELEC Central Secretariat: rue de Stassart 35 B-1050, Bruxelles, Belgique).

46. C.F. Dalziel and T.H. Mansfield. Effects of Frequency on Perception Currents. Trans. AIEE, Vol. 69, Part II, pp. 1162-1168, 1950.

47. H.A. Kues, L.W. Hirst, G. A. Lutty, S.A. D'Anna and G.R. Dunkelberger. Effects of 2.45 GHz Microwaves on Primate Corneal Endothelium, Bioelectromagnetics, Vol. 6, pp. 177-188, 1985.

48. H.A. Kues, J.C. Monahan, S.A. D'Anna, D. S. McLeod, G. A. Lutty and S. Koslov. Increased Sensitivity of the Non-Human Primate Eye to Microwave Radiation Following Ophthalmic Drug Pretreatment, Bioelectromagnetics, Vol. 13, pp. 379-393, 1992.

49. Y. Kamimura, K. Sato, T. Saiga, and Y. Amemiya. Effects of 2.45 GHz Microwave Irradiation on Monkey Eyes, IEICE Trans. Communications, Vol. E-77B, pp. 762-765, 1994.